Vanda Palubinskienė

Fizikos uždavinynas

XI–XII klasei

Suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi

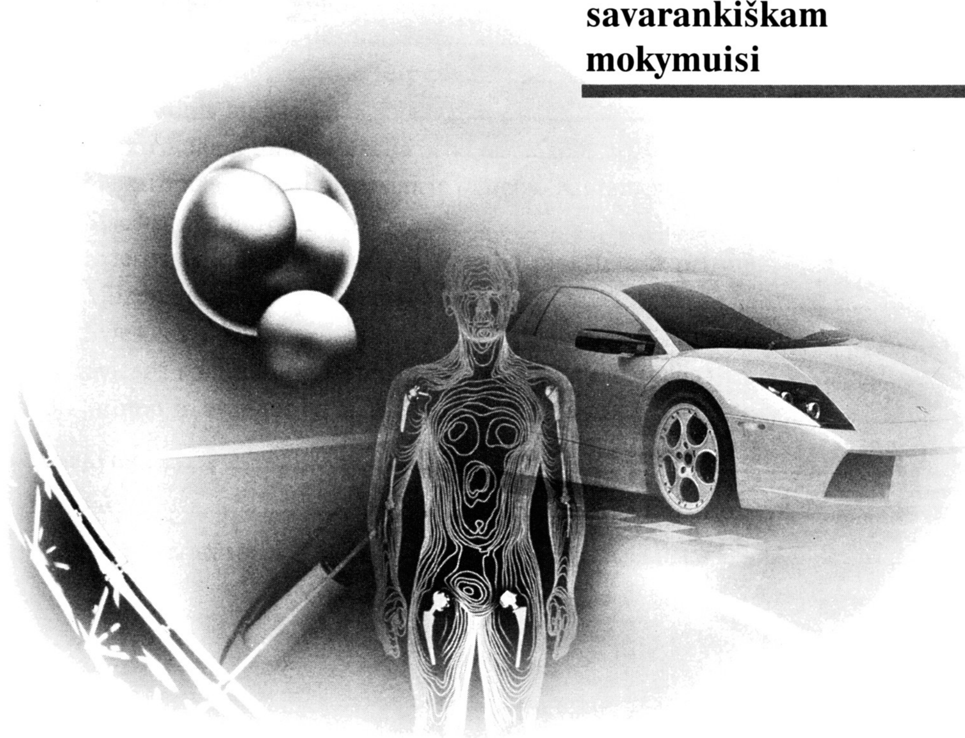
ŠVIESA

Vanda Palubinskienė

Fizikos uždavinynas

XI–XII KLASEI

Suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi



ŠVIESA

UDK 53(075.3)
Pa156

Pirmasis leidimas 2008

ISBN 978-5-430-05160-0

TURINYS

PRATARMĖ

Vienas pagrindinių fizikos mokslo tikslų – sudaryti palankias sąlygas besimokančiųjų gabumams reikštis, suteikiant jiems žinių apie gamtą. Todėl labai svarbu lavinti jų kritinį mąstymą, ugdyti savarankiškumą ir mokslinę pasaulėžiūrą, o svarbiausia – išugdyti gebėjimus taikyti įgytas fizikos žinias įvairiose praktinės veiklos srityse bei nestandartinėse situacijose.

Šiuo metu Lietuvoje yra nemažai suaugusiųjų, norinčių įgyti vidurinį išsilavinimą. Dauguma jų pageidauja mokytis neakivaizdiniu būdu. Statistiniai duomenys rodo ir tai, kad kiekvienais metais šių besimokančiųjų skaičius sumažėja dėl įvairių priežasčių – laiko trūkumo, vaikų priežiūros, mokymosi sąlygų neturėjimo ir nepasitikėjimo savo jėgomis.

Neakivaizdinis mokymosi būdas ypač naudingas dirbantiesiems, kurie, pasirinkę tradicines mokymo formas, sunkiai suderintų mokymosi ir darbo laiką (jie augina mažamečius vaikus, išvyksta į užsienį ilgalaikėms komandiruotėms ar atlieka karinę tarnybą). Kadangi savarankiškas darbas yra vienas svarbiausių suaugusiųjų švietimo akcentų, tai neakivaizdinis mokymas šiuo metu ypač populiarėja. Besimokantiems savarankiškai labai patogu mokytis pagal mokytojo nuorodas jiems prieinamu laiku, individualių konsultacijų su mokytoju metu išsiaiškinant sudėtingesnius klausimus ar iškilusias žinių įsisavinimo problemas. Toks suaugusiųjų mokymas grindžiamas besimokančiųjų aktyvumu ir kūrybingumu. Jie priversti savarankiškai naudotis sukaupta patirtimi, naujas žinias sistemindami jau turimų žinių bazėje. Be to, jie patenkina ne tik mokymosi, bet ir bendravimo poreikį, pradeda pasitikėti savo jėgomis. Visa tai stiprina besimokančiųjų savigarbą bei mokymosi motyvaciją.

Tuo tikslu 2005 m. dviem knygomis buvo išleistas fizikos vadovėlis, skirtas suaugusiųjų mokymui ir mokymuisi (V. Palubinskienė „Fizika XI–XII klasei. Suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi“). Šis uždavinynas yra priedas prie vadovėlio, padedantis vadovėlyje išdėstytą medžiagą taikyti praktiškai. Naudodamiesi uždavinynu, besimokantieji įtvirtins jau turimas žinias, įgis ir suvoks tų žinių taikymo galimybes, formuos ir lavins praktinio žinių taikymo įgūdžius.

Uždavinyne visas XI–XII klasės fizikos kursas suskirstytas į 25 skyrius. Pirmasis skyrius skiriamas pirmojo fizikos koncentro pagrindinėms sąvokoms, dėsniams ir reiškiniams pakartoti. Kiekvieno skyriaus pradžioje pateikiama trumpa to skyriaus teorinių žinių santrauka. Po jos yra 5–10 tipinių uždavinių sprendimo pavyzdžių, kurie padės besimokantiems geriau ir lengviau susipažinti su vieno ar kito skyriaus uždavinių sprendimo metodika, būdingais jų analizavimo kriterijais bei sprendimo

eigos reikalavimais. Savarankiškai išanalizavę išspręstų uždavinių pavyzdžius, mokiniai papildys turimas žinias arba įgis naujų žinių, reikalingų mokantis fizikos. Be to, remiantis išspręstų uždavinių paaiškinimais, jiems bus lengviau atlikti toliau kiekviename skyriuje pateiktus uždavinius, kuriuos galės spręsti ne tik klasėje, bet ir namuose, komandiruočių, kontrolinių ar įskaitinių darbų metu.

Uždavinyne yra per 200 jau išspręstų ir išsamiai paaiškintų pavyzdžių bei daugiau negu 1080 nevienodo sunkumo ir įvairių rūšių neišspręstų uždavinių (kokybinių, eksperimentinių, grafinių, skaičiavimo ir t. t.). Juos atlikdami, tiek suaugusiųjų mokymo centro klausytojai, tiek vidurinių mokyklų moksleiviai išmoks taikyti pagrindinius fizikos dėsnius ir formules, geriau įsimins fizikines sąvokas bei reiškinius, kartu giliau suvoks fizikinę jų prasmę. Kokybinio pobūdžio uždaviniai padės nuodugniau suvokti gamtoje vykstančius reiškinius, įsisąmoninti juos apibūdinančių dėsnių esmę ir parodys jų taikymo sritis ir galimybes. Uždavinyno užduotys, reikalaujančios įvairesnių sprendimo būdų ir metodų, pažymėtos žvaigždute.

Knygos pabaigoje pateikiami uždavinių atsakymai. Be to, čia rasite įvairių priedų (pagrindines sąvokas, konstantas ir jų išvestinius dydžius, fizikinių dydžių lenteles, graikų abecėlę).

Nors uždavinynas skiriamas suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi, tačiau jame išdėstyta medžiaga visiškai atitinka bendrojo lavinimo mokyklos Bendrąsias programas. Todėl jis, kaip mokymo priemonė, galėtų būti naudojamas ne tik suaugusiųjų mokymo centruose. Uždavinynas praverstų besimokantiems fizikos ir kitose mokymosi įstaigose, jis galėtų būti papildoma mokomoji medžiaga visiems, kurie nori savarankiškai mokytis fizikos, rengiasi olimpiadoms ar fizikos egzaminui.

Vanda Palubinskienė

Mielas Moksleivi!

Trykšdamas jaunatviška energija, dažnai net nesusimąstai, kad fizika yra ir itin daug aprėpiantis mokslas, ir menas. Ji ne tik išsamiai paaiškina žvaigždžių evoliuciją, planetų judėjimą, elementariųjų dalelių prigimtį, gamtos spalvų, garsų ir reiškinių įvairovę, bet kartu leidžia keisti mus supančią aplinką – statyti tiltus, tiesti magistralinius kelius, leisti į erdvę kosminius aparatus, valdyti įvairias energijos rūšis ir statyti elektrines ar gaminti precizinius mikrochirurgų instrumentus. Fizikos dėka atsirado internetas, buvo pradėta gaminti stipri, lengva sporto įranga, moderniausi šiuolaikiniai automatiškai valdomi vaikiški žaislai. Fizika skverbiasi į visas mūsų gyvenimo sritis.

Vadinasi, fiziką galima apibūdinti keliais aspektais. Pirmiausia, tai – informacijos apie dėsnius, kurie valdo gamtos pasaulį ir padeda mums suvokti aplinką, visuma. Antra, fizika grindžiamos daugelio specialistų – inžinierių, astronomų, elektronikos konstruktorių, medicinos mokslo tyrinėtojų – veiklos sritys. Fizikos idėjomis remiasi verslo vadybininkai, sociologai ir kitų profesijų darbuotojai, nes ji padeda keisti ir kurti materialųjį pasaulį pagal savo poreikius ir įgyvendinti siekį – atrasti nauja.

Todėl man nepaprastai džiugu matyti Tave su fizikos vadovėliu ar uždavinynu rankose... Norėčiau, kad, mokydamasis šio nepaprastai įdomaus, daugelį gamtos paslapčių atskleidžiančio dalyko, tvirtėtum ne tik dvasiškai, bet ir taptum visapusiškai išsilavinusiu piliečiu, kuris, patekęs į įvairias gyvenimo situacijas, geba dalykiškai ir kūrybingai spręsti iškilusias problemas.

Kad nepasimestum spręsdamas ir nagrinėdamas šiame uždavinyne esančias užduotis, pateikiu Tau atmintinę, nusakančią, ką svarbiausia turėtum žinoti prieš pradėdamas nagrinėti bet kokio pobūdžio fizikos uždavinį.

1. Atidžiai **perskaityk uždavinio sąlygą.**
2. **Žodinę sąlygą užrašyk fizikiniais simboliais**, o **nestandartinius vienetus išreikšk** tarptautinės matavimų vienetų sistemos **SI vienetais**.
3. Pakartotinai perskaityk uždavinio sąlygą ir **nustatyk fizikinį reiškinį**, kurį ji aprašo.
4. Reiškiniui apibūdinti **pritaikyk dėsnį** ir **užrašyk jo formulę**.
5. Jeigu uždaviniui atlikti reikia gilesnės analizės, **nusibraižyk aiškinamąjį brėžinį**.
6. Jeigu uždavinio sąlygoje pateikti sudėtingesnio pobūdžio reiškiniai, **užrašyk papildomas**, su jais susijusias, **formules**.
7. **Lentelėse susirask** pagrindinių **fizikinių dydžių ir konstantų reikšmes** ir **įrašyk** jas sutrumpintos sąlygos nurodytoje skiltyje.
8. Pritaikęs per matematikos pamokas įgytas žinias (matematikos taisykles), **atlik formulių pertvarkius** ir **išreikšk ieškomąjį dydį**.
9. Į galutinę išraišką **įrašyk** sąlygoje nurodytas **fizikinių dydžių vertes** ir **apskaičiuok rezultatą**.
10. **Pertvarkyk** fizikinių dydžių **matavimo vienetus**.
11. **Įvertink** gauto **atsakymo** realią vertę ir **padaryk išvadas**.
12. **Užrašyk** atsakymą.

Autorė

1. Pirmojo fizikos koncentro kartojimas

Pirmojo fizikos koncentro pagrindinės sąvokos

Fizikinis dydis	Formulė	Matavimo vienetas
Kelias	$s = vt$	1 m
Greitis	$v = \frac{s}{t}$	1 m/s
Pagreitis	$a = \frac{v - v_0}{t}$	1 m/s^2
	$a = \frac{F}{m}$	
Medžiagos tankis	$\rho = \frac{m}{V}$	1 kg/m^3
Jėga	$F = ma$	1 N
Sunkio jėga	$F = mg$	
Kūno svoris	$P = mg$	
Mechaninis darbas	$A = Fs$	1 J
Mechaninė galia	$N = \frac{A}{t}$	1 W = 1 J/s
	$N = Fv$	
Potencinė energija	$E_p = mgh$	1 J
Kinetinė energija	$E_k = \frac{mv^2}{2}$	1 J
Jėgos momentas	$M = Fl$	1 Nm
Naudingumo koeficientas	$\eta = \frac{A_n}{A_v} = \frac{A_n}{Q}$	
Slėgis	$p = \frac{F}{S}$	1 Pa = 1 N/m^2
Skysčių (dujų) slėgis	$p = \rho gh$	1 Pa
Archimedo jėga	$F_A = \rho_s gV$	1 N
Šilumos kiekis	$Q = cm(t_2 - t_1)$	1 J
Šilumos kiekis, išsiskiriantis kurui sudegus	$Q = qm$	1 J
Šilumos kiekis, reikalingas kūnui išlydyti (sukietėti)	$Q = \lambda m$	1 J

Fizikinis dydis	Formulė	Matavimo vienetas
Šilumos kiekis, reikalingas kūnui išgarinti (kondensuotis)	$Q = Lm$	1 J
Elektros srovės stipris	$I = \frac{q}{t}$	1 A
Elektrinė įtampa	$U = \frac{A}{q}$	1 V
Laidininko elektrinė varža	$R = \rho\frac{l}{S}$	1 Ω
Elektros srovės darbas	$A = UIt$	1 J = 1 Ws
Elektros srovės galia	$P = UI$	1 W = 1 J/s
Periodas	$T = \frac{t}{n}$	1 s
Dažnis	$\nu = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$	1 Hz = 1 s^{-1}
Bangos sklidimo greitis	$\upsilon = \frac{\lambda}{T}$; $\upsilon = \lambda\nu$	1 m/s
Bangos ilgis	$\lambda = \frac{\upsilon}{\nu}$; $\lambda = \upsilon T$	1 m
Elektrinė talpa	$C = \frac{q}{U}$	1 F = 1 C/V
Tomsono formulė	$T = 2\pi\sqrt{LC}$	1 s
Apšvieta	$E = \frac{\Phi}{S}$; $E = \frac{I}{R^2}$	1 lx = 1 lm/m^2
Medžiagos lūžio rodiklis	$n = \frac{c}{\upsilon}$	
Lęšio formulė	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	
Optinė geba	$D = \frac{1}{F}$	1 D = 1 m^{-1}
Tiesinis didinimas	$\Gamma = \frac{f}{d}$	
Difrakcinės gardelės formulė	$d \sin\varphi = k\lambda$	
Fotono energija	$E = h\nu$; $E = h\frac{c}{\lambda}$	1 J
Einšteino fotoefekto lygtis	$h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}$	

Laidininkų jungimo būdai

Fizikinis dydis	Nuoseklusis jungimas	Lygiagretusis jungimas
Srovės stipris	$I = I_1 = I_2$	$I = I_1 + I_2$
Įtampa	$U = U_1 + U_2$	$U = U_1 = U_2$
Varža	$R = R_1 + R_2$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

Kartojimo pavyzdžiai ir uždaviniai

1.1 pavyzdys

Aukso ir sidabro lydinio tankis $14 \cdot 10^3$ kg/m^3, o masė 0,40 kg. Apskaičiuokite lydinyje esančio aukso ir sidabro kiekį. Išreikškite tuos kiekius procentais. (Lydinio tūris lygus jo sudėtinių dalių tūrių sumai.)

$m = 0{,}40$ kg
$\rho = 14 \cdot 10^3$ kg/m^3
$\rho_1 = 19{,}3 \cdot 10^3$ kg/m^3
$\rho_2 = 10{,}5 \cdot 10^3$ kg/m^3

$m_1 - ?$ $m_2 - ?$ $x_1 - ?$ $x_2 - ?$

Sprendimas

Lydinyje esančio aukso masę m_1 ir sidabro masę m_2 apskaičiuojame pagal formules $m_1 = \rho_1 V_1$ ir $m_2 = \rho_2 V_2$ (**1**); čia ρ_1 – aukso tankis; ρ_2 – sidabro tankis; V_1 – aukso tūris; V_2 – sidabro tūris.

Šiose lygtyse tūriai V_1 ir V_2 yra nežinomi. Juos randame pasinaudodami uždavinio sąlygoje pateikta informacija – bendra lydinio masė m lygi aukso ir sidabro masių sumai $m = m_1 + m_2$ (**2**); o lydinio tūris lygus jo sudėtinių dalių tūrių sumai $V = V_1 + V_2$ (**3**). Lydinio masė užrašoma formule $m = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2$ (**4**).

1 ir **4** lygtis įrašę į **2**, gauname: $\rho V = \rho_1 V_1 + \rho_2 V_2$ (**5**). Iš **3** lygties matyti, kad sidabro tūris $V_2 = V - V_1$. Šią išraišką įrašome į **5** lygtį: $\rho V = \rho_1 V_1 + \rho_2 (V - V_1)$.

Iš čia aukso tūris $V_1 = \frac{\rho V - \rho_2 V}{\rho_1 - \rho_2} = \frac{(\rho - \rho_2)}{\rho_1 - \rho_2}$ (**6**). Gautą išraišką įrašę į **1** lygtį, gauname, kad aukso masė lydinyje lygi $m_1 = \frac{(\rho - \rho_2)V}{\rho_1 - \rho_2}\rho_1$. Kadangi $V = \frac{m}{\rho}$, tai $m_1 = \frac{(\rho - \rho_2)\rho_1 m}{(\rho_1 - \rho_2)\rho}$. Įrašę šių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame, kokia yra lydinyje esančio aukso masė:

$$m_1 = \frac{\left(14 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 10{,}5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot 19{,}3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}40\,\text{kg}}{\left(19{,}3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 10{,}5 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot 14 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0{,}22\ \text{kg}.$$

Aukso masę lydinyje procentais apskaičiuojame tokiu būdu: $x_1 = \frac{m_1}{m} \cdot 100\,\%$;
$x_1 = \frac{0{,}22\ \text{kg}}{0{,}40\ \text{kg}} \cdot 100\,\% = 55\,\%$.

Sidabro masę m_2 sužinome iš visos lydinio masės atėme aukso masę m_1: m_2 = 0,4 kg – 0,22 kg = 0,18 kg. Šis kiekis procentais lygus $x_2 = \frac{m_2}{m} \cdot 100\,\%$;
$x_2 = \frac{0{,}18\ \text{kg}}{0{,}4\ \text{kg}} \cdot 100\,\% = 45\,\%$.

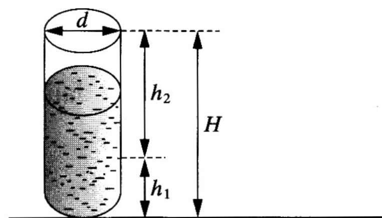
Atsakymas. Šiame lydinyje yra 0,22 kg aukso ir 0,18 kg sidabro. Aukso kiekis sudaro 55 %, sidabro kiekis – 45 % visos lydinio masės.

1.2 pavyzdys

Į cilindro formos indą, kurio skersmuo 20 cm, įpilta 15 l vandens. Koks yra jo slėgis į indo sieneles 10 cm aukštyje nuo indo dugno?

Sprendimas

d = 20 cm = 0,2 m	ρ = 1000 kg/m³
V = 15 l = 15 · 10^{-3} m³	g = 9,8 m/s²
h_1 = 10 cm = 0,1 m	
p – ?	



1.1 pav.

Žinome, kad skysčio (dujų) slėgis į indo dugną ir sieneles apibūdinamas lygtimi $p = \rho g h$, čia ρ – skysčio (dujų) tankis, g – laisvojo kritimo pagreitis; h – skysčio (dujų) stulpelio aukštis. Todėl vandens slėgis cilindre aukštyje h_1 nuo indo dugno apskaičiuojamas pagal formulę $p = \rho g h_2$ **(1)**, čia h_2 – vandens aukštis cilindre. Iš brėžinio matyti, kad, supylus į cilindrą nurodytą vandens tūrį, vandens stulpelio aukštis bus $H = h_1 + h_2$ **(2)**. Žinant vandens tūrį ir cilindro skersmenį, galima nustatyti vandens stulpelio aukštį H: $H = \frac{V}{S}$, čia S – cilindro plotas, kuris išreiškiamas formule $S = \frac{\pi d^2}{4}$. Iš šių formulių gauname, kad $H = \frac{4V}{\pi d^2}$ **(3)**. Gautą išraišką įrašę į **2** lygtį, išreiškiame h_2: $h_2 = \frac{4V}{\pi d^2} - h_1$ **(4)**. **4** lygtį įrašę į **1** lygtį, gauname slėgio nagrinėjamoje cilindro vietoje išraišką: $p = \rho g \left(\frac{4V}{\pi d^2} - h_1 \right)$. Dabar įrašome dydžių vertes ir apskaičiuojame ieškomą vandens slėgį:

$$p = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \left(\frac{4 \cdot 15 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3}{3{,}14 \cdot (0{,}2\ \text{m})^2} - 0{,}1\ \text{m} \right) \approx 3724 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 3{,}7\ \text{kPa}.$$

Atsakymas. Vandens slėgis į cilindro sieneles 10 cm aukštyje nuo indo dugno apytiksliai lygus 3,7 kPa.

1.3 pavyzdys

Inde buvo 100 g 20 °C temperatūros vandens. Į jį įpylus 100 °C temperatūros vandens, inde nusistovėjo 75 °C temperatūra. Kiek karšto vandens įpilta? Indo įšilimo ir kitų energijos nuostolių nepaisykite.

m_1 = 100 g = 0,1 kg t_1 = 20 °C t_2 = 75 °C t_3 = 100 °C	c = 4200 J/(kg °C)

m_2 – ?

Sprendimas

Žinome, kad karštas kūnas perduoda šilumą žemesnės temperatūros kūnui. Vadinasi, karšto vandens atiduotas šilumos kiekis lygus šalto vandens gautam šilumos kiekiui. Šį teiginį matematiškai užrašome taip: $|Q_2|=|Q_1|$, čia Q_1 – šalto vandens šilumos kiekis; Q_2 – karšto vandens šilumos kiekis.

Į šią lygtį įrašę šilumos kiekių išraiškas, gauname: $cm_2(t_3-t_2) = cm_1(t_2-t_1)$. Išreiškiame m_2: $m_2=\dfrac{m_1(t_2-t_1)}{t_3-t_2}$. Įrašę šių dydžių vertes, apskaičiuojame m_2:

$$m_2=\frac{0{,}1\,\text{kg}\cdot(75\,°\text{C}-20\,°\text{C})}{100\,°\text{C}-75\,°\text{C}}=0{,}22\ \text{kg}.$$

Atsakymas. Įpilta 0,22 kg karšto vandens.

1.4 pavyzdys

Apskaičiuokite 440 Hz dažnio garso bangų ilgį, joms sklindant oru, vandeniu ir plienu. Garso bangų sklidimo greitis ore lygus 340 m/s, vandenyje – 1483 m/s, pliene – 5000 m/s.

ν = 440 Hz
v_1 = 340 m/s
v_2 = 1483 m/s
v_3 = 5000 m/s

λ_1 – ? λ_2 – ? λ_3 – ?

Sprendimas

Spręsdami šią užduotį taikome bangos greičio sklidimo formulę $v = \lambda\nu$. Iš jos išreiškę λ ir įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname:

$$\lambda_1=\frac{v_1}{\nu};\quad \lambda_1=\frac{340\ \text{m/s}}{440\ \text{Hz}}\approx 0{,}8\ \text{m};$$

$$\lambda_2=\frac{v_2}{\nu};\quad \lambda_2=\frac{1483\ \text{m/s}}{440\ \text{Hz}}\approx 3{,}4\ \text{m};\qquad \lambda_3=\frac{v_3}{\nu};\quad \lambda_3=\frac{5000\ \text{m/s}}{440\ \text{Hz}}\approx 11{,}4\ \text{m}.$$

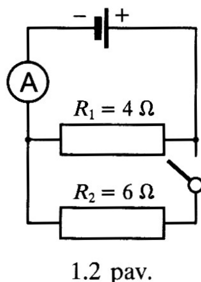
Atsakymas. Oru sklindančių garso bangų ilgis apytiksliai lygus 0,8 m; vandeniu – 3,4 m ir plienu – 11,4 m.

1.5 pavyzdys

Pagal paveiksle pateiktos elektrinės grandinės schemos duomenis apskaičiuokite, ką rodo ampermetras, kai: a) jungiklis yra išjungtas; b) jungiklis yra įjungtas.

$R_1 = 4\ \Omega$
$R_2 = 6\ \Omega$
$U = 6\ \text{V}$

$I_1 - ?\ I_2 - ?$



1.2 pav.

Sprendimas

a) Kai jungiklis yra išjungtas, elektros srovė teka tik varžu (rezistoriumi) R_1, todėl elektros srovės stiprį I_1 galime apskaičiuoti pagal Omo dėsnį grandinės daliai:

$$I_1 = \frac{U}{R_1};\quad I_1 = \frac{6\ \text{V}}{4\ \Omega} = 1{,}5\ \text{A}.$$

b) Kai jungiklis yra įjungtas, elektros srovė teka abiem varžais, kurie tarpusavyje sujungti lygiagrečiai. Šiuo atveju ampermetru tekančios srovės stipris I_2 lygus $I_2 = \frac{U}{R}$, čia R – pilnutinė grandinės varža. Ją apskaičiuojame remdamiesi lygiagrečiuoju varžų jungimu: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Iš čia išreiškiame R:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2};\quad R = \frac{4\ \Omega \cdot 6\ \Omega}{4\ \Omega + 6\ \Omega} = 2{,}4\ \Omega.$$

Žinant pilnutinės varžos dydį, galima apskaičiuoti I_2: $I_2 = \frac{6\ \text{V}}{2{,}4\ \Omega} = 2{,}5\ \text{A}.$

Atsakymas. Kai jungiklis yra išjungtas, ampermetras rodo 1,5 A, kai jungiklis yra įjungtas, – 2,5 A.

1.1. Kambario grindų plotas 20 m^2, aukštis 3 m. Apskaičiuokite jame esančio oro masę ir svorį.

1.2. Auksas valcuojamas iki 0,10 μm storio plėvelės. Kokį plotą galima padengti auksu, kurio masė 2,0 g?

1.3. Geležinio strypo ilgis 2 m, skerspjūvio plotas 4 cm^2, o masė 6,28 kg. Apskaičiuokite geležies tankį.

1.4. Ketaus liejinio tūris lygus 3,1 dm^3, masė 21 kg. Ar jame yra tuštumų? Jeigu yra, tai koks jų tūris?

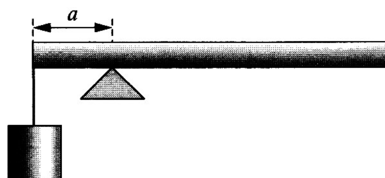
1.5. Masės kilogramo etalonas pagamintas iš 90 % platinos ir 10 % iridžio lydinio. Apskaičiuokite to lydinio tankį ir etalono tūrį, lydinio tūrį laikydami lygiu jo sudėtinių dalių tūrių sumai.

1.6. Iš ketaus išlieto rutulio masė 800 g, tūris 125 cm^3. Ar šis rutulys yra pilnaviduris ar tuščiaviduris?

1.7. Gaminant žalvarį, sulydyta 0,2 m^3 vario ir 0,05 m^3 cinko. Apskaičiuokite gauto žalvario tankį. Lydinio tūris lygus jo sudedamųjų dalių tūriui.

1.8. Lydinį sudaro 2,92 kg alavo ir 1,46 kg švino. Koks to lydinio tankis? (Jo tūrį laikykite lygiu sudėtinių dalių tūrių sumai.)

1.9. Ant vienalyčio strypo vieno galo pakabintas pasvaras, kurio masė $m = 2$ kg. Kai atramos taškas nutolęs nuo to galo atstumu a, lygiu $\frac{1}{5}$ strypo ilgio, strypas yra pusiausviras. Apskaičiuokite strypo masę M.



1.3 pav.

1.10. Du žmonės neša 6 m ilgio ir 100 kg masės geležinį strypą. Pirmasis žmogus laiko jį už vieno galo, antrasis – 1 m atstumu nuo kito galo. Kokia jėga slegia kiekvieną žmogų?

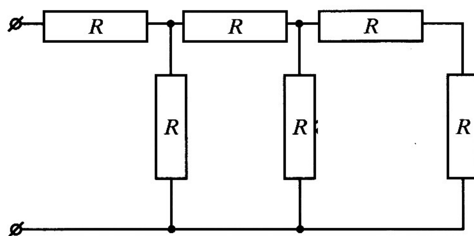
1.11. Vandens gylis h, kuriame yra oro burbuliukas, lygus 1 m. Koks turi būti vandens slėgis, kad burbuliukas išsilaikytų šiame gylyje? Atmosferos slėgis $p_a =$ $= 101{,}3$ kPa.

1.12. Skystyje A kūnas paniro į 30 mm gylį, skystyje B – į 80 mm gylį. Kiek panirs šis kūnas skystyje C, kurio tankis lygus pusei skysčių A ir B tankių sumos?

1.13. Vandens masė lygi 1,5 kg, o temperatūra 30 °C. Kokios didžiausios masės m_1 ledo gabalas, kurio temperatūra 0 °C, gali visas ištirpti šiame vandenyje?

1.14. Važiuodamas vidutiniu 72 km/h greičiu, automobilis 300 km kelyje suvartojo 70 l benzino. Automobilio variklio naudingumo koeficientas 25 %. Kokia yra variklio vidutinė galia?

1.15. Apskaičiuokite elektrinės grandinės pilnutinę varžą, kai $R = 1\ \Omega$ (1.4 pav.).



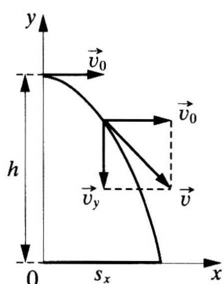
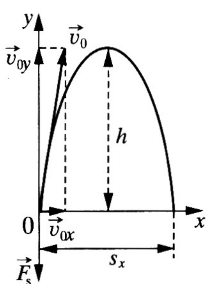
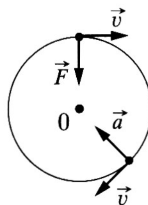
1.4 pav.

1.16. Atstumas nuo daikto iki lęšio lygus 6 m, o daikto atvaizdas nutolęs nuo lęšio per 2 m. Nustatykite lęšio laužiamąją gebą, kai atvaizdas yra: a) tikras; b) menamas.

1.17. Nusiėmęs akinius, žmogus skaito knygą, padėtą 16 cm atstumu nuo akių. Kokia yra akinių laužiamoji geba?

2. Mechaninis judėjimas

	Tolygusis judėjimas	Tiesiaeigis judėjimas			
		Tolygiai kintamas judėjimas			
		Horizontalusis (gulsčiasis) judėjimas		Vertikalusis (statusis) judėjimas	
Atstojamoji jėga	$\vec{F}=0$	$\vec{F}=m\vec{a}$;	$\vec{F}=\text{const.}$	$\vec{F}_s=m\vec{a}$;	$\vec{F}_s=m\vec{g}$.
Atstojamosios jėgos, greičio, poslinkio ir pagreičio kryptys	$\vec{F}=0$	Tolygiai lėtėjantis	Tolygiai greitėjantis	Laisvasis kūnų kritimas	Vertikaliai aukštyn mesto kūno judėjimas
		$\vec{F}$ $\vec{v}$	$\vec{F}$ $\vec{v}$	$\vec{F}_s$ $\vec{v}$	$\vec{F}_s$ $\vec{v}$
		$\vec{a}$ $\vec{F}$ $\vec{v}$ x $a<0$ $v>0$ $s>0$	$\vec{a}$ $\vec{F}$ $\vec{v}$ x $a>0$ $v>0$ $s>0$	$\vec{g}$ $\vec{F}_s$ $\vec{v}$ y $h>0$ $g>0$ $v>0$	$\vec{v}$ $\vec{g}$ $\vec{F}_s$ y $h>0$ $g>0$ $v<0$
Pagreitis	$\vec{a}=0$	$a=\dfrac{\vec{v}-\vec{v}_0}{t}$;	$\vec{a}=\text{const.}$	$\vec{a}=\vec{g}=9{,}8\,m/\text{s}^2$.	
Greitis	$\vec{v}=\text{const.}$; $\vec{v}=\dfrac{\vec{s}}{t}$, $v=\dfrac{s}{t}$.	$\vec{v}=\vec{v}_0\pm\vec{a}t$, kai $\vec{v}_0=0$, tai $\vec{v}=\pm\vec{a}t$.		$\vec{v}=\vec{v}_0\pm\vec{g}t$, kai $\vec{v}_0=0$, tai $\vec{v}=\pm\vec{g}t$.	
Kelias	$\vec{s}=\vec{v}t$, $s=vt$.	$\vec{s}=\vec{v}_0t\pm\dfrac{\vec{a}t^2}{2}$, kai $\vec{v}_0=0$, tai $\vec{s}=\pm\dfrac{\vec{a}t^2}{2}$.		$\vec{h}=\vec{v}_0t\pm\dfrac{\vec{g}t^2}{2}$, kai $\vec{v}_0=0$, tai $\vec{h}=\pm\dfrac{\vec{g}t^2}{2}$.	

Kreivaeigis judėjimas		
$\vec{F}_s \not\parallel \vec{v}$	$\vec{F}_s \not\parallel \vec{v}$	$\vec{F}_s \perp \vec{v}$
		
$a_x = 0;$	$a_y = g.$	$a = \frac{v^2}{R};$ $a = \omega^2 \cdot R.$
$v_x = v_0 = \text{const};$ $v_y = gt.$	$v_{0x} = v_0 \cos\alpha;$ $v_{0y} = v_0 \sin\alpha.$	$v = \frac{2\pi R}{T};$ $v = 2\pi\nu R;$ $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$
$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$		
$s_x = v_x t;$ $s_y = h = \frac{gt^2}{2}.$	$s_x = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g};$ $h_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}.$	

2.1 pavyzdys

Trečdalį kelio automobilis važiavo vidutiniu greičiu v_1, o visą likusį kelią – vidutiniu greičiu, lygiu 50 km/h. Apskaičiuokite greitį v_1, jeigu vidutinis greitis visame kelyje lygus 37,5 km/h.

$s_1 = \frac{1}{3}s$

$s_2 = \frac{2}{3}s$

$v_2 = 50\frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 13{,}89\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$v_{\text{vid}} = 37{,}5\frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 10{,}42\frac{\text{m}}{\text{s}}$

v_1 – ?

Sprendimas

Vidutinį greitį apskaičiuojame visą nueitą kelią s dalydami iš viso tam keliui įveikti sugaišto laiko:

$v_{\text{vid}} = \frac{s}{t}$ **(1)**.

Laikas, sugaištas visam keliui nuvažiuoti, lygus laiko tarpų, per kuriuos nuvažiuojamas pirmasis ir antrasis kelio ruožai, sumai: $t = t_1 + t_2$ **(2)**.

Laiko tarpus t, t_1 ir t_2 išreiškiame tokiomis lygtimis: $t = \frac{s}{v_{vid}}$; $t_1 = \frac{s_1}{v_1}$; $t_2 = \frac{s_2}{v_2}$ **(3)**. **3** išraiškas įrašę į **2**, gauname lygtį $\frac{s}{v_{vid}} = \frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}$.

Į ją vietoj s_1 ir s_2 įrašome uždavinio sąlygoje apibrėžtas priklausomybes:

$$\frac{s}{v_{vid}} = \frac{s_1}{3v_1} + \frac{s_2}{3v_2}.$$

Iš šios lygties išreiškiame v_1: $v_1 = \frac{v_{vid} \cdot v_2}{3v_2 - 2v_{vid}}$.

Įrašę žinomas dydžių vertes, apskaičiuojame vidutinį greitį:

$$v_1 = \frac{10{,}42\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 13{,}89\frac{\text{m}}{\text{s}}}{3 \cdot 13{,}89\frac{\text{m}}{\text{s}} - 2 \cdot 10{,}42\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 6{,}94\frac{\text{m}}{\text{s}} = 25\frac{\text{km}}{\text{h}}.$$

Atsakymas. Pirmąjį kelio ruožą automobilis važiuoja vidutiniu greičiu, lygiu 25 km/h.

2.2 pavyzdys

Materialiojo taško judėjimo lygtis yra $x = 6 + 3t + t^2$. Nustatykite greičio priklausomybę nuo laiko ir kūno nueitą atstumą. Apskaičiuokite greitį ir pagreitį praslinkus 2 s nuo judėjimo pradžios.

$x = 6 + 3t + t^2$

$t = 2$ s

$v(t)$ – ? s_x – ?

v_x – ? a – ?

Sprendimas

Koordinačių sistemos ašį x nukreipiame kūno judėjimo kryptimi ir užrašome judėjimo lygtį projekcijomis:

$$x = x_0 + v_{0x}t + t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Palyginę ją su uždavinio sąlygoje duota lygtimi, matome, kad $x_0 = 6$ m; $v_{0x} = 3$ m/s ir $a_x = 2$ m/s^2. Greičio priklausomybė nuo laiko išreiškiama lygtimi $v_x = v_{0x} + a_x t$. Įrašę v_{0x} ir a_x vertes, gauname, kad $v_x = 3 + 2t$. Taigi kūno greitis po 2 s lygus $v_x = 3\ \text{m/s} + 2\ \text{m/s}^2 \cdot 2\ \text{s} = 7$ m/s. Pagreitis lieka nepakitęs, nes judėjimas, kaip nurodyta sąlygoje, yra tolygiai greitėjantis. Atstumas, nueitas per 2 s, apskaičiuojamas pagal formulę $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

Įrašę dydžių vertes, gauname: $s_x = 3\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 2\,\text{s} + \frac{2\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (2\,\text{s})^2}{2} = 10\,\text{m}.$

Atsakymas. $v(t) = 3 + 2t$; $v_x = 7$ m/s; $a = 2$ m/s^2; $s_x = 10$ m.

2.3 pavyzdys

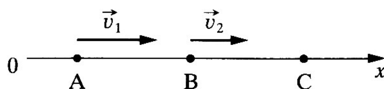
Iš dviejų taškų A ir B, esančių 90 m atstumu vienas nuo kito, tuo pačiu momentu ir ta pačia kryptimi pradėjo judėti du kūnai. Kūno, pajudėjusio iš taško A, greitis lygus 5 m/s, o kūno, pajudėjusio iš taško B, greitis – 2 m/s. Po kiek laiko pirmasis kūnas pasivys antrąjį? Koks bus kiekvieno kūno poslinkis? Uždavinį išspręskite analitiniu ir grafiniu būdu.

$x_{02} = 90$ m
$v_2 = 2$ m/s
$v_1 = 5$ m/s

s_1 – ? s_2 – ? t_1 – ?

Sprendimas

Analitinis būdas. x ašies pradžia pasirenkame tašką A, o kryptį sutapatiname su kūno judėjimo kryptimi. Tada kūnų judėjimo dėsnius galime užrašyti taip: $x_1 = v_1 t$, nes $x_{01} = 0$ **(1)** ir $x_2 = x_{02} + v_2 t$ **(2)**. x_1 ir x_2 – pirmojo ir antrojo kūnų koordinatės. Kai taške C pirmasis kūnas pasivys antrąjį, tuomet $x_1 = x_2$, o $t = t_1$, čia t_1 – kūnų judėjimo iki taško C laikas. Arba, pasinaudoję **1** ir **2** lygtimis bei matematiškai jas pertvarkę, gauname: $v_1 t_1 = x_{02} + v_2 t_1$ **(3)**.



Iš **3** lygties randame kūnų judėjimo iki taško C laiką: $t_1 = \frac{x_{02}}{v_1 - v_2}$. Įrašę dydžių vertes, gauname: $t_1 = \frac{90\,\text{m}}{5\frac{\text{m}}{\text{s}} - 2\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 30\,\text{s}.$

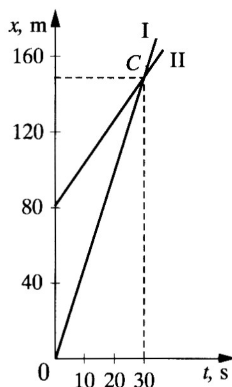
Kūnų poslinkius iki taško C apskaičiuojame taip:

$s_1 = x_1 - x_{01} = v_1 t_1$, $s_1 = 5\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 30\,\text{s} = 150\,\text{m}$;

$s_2 = x_2 - x_{02} = v_2 t_1$, $s_2 = 2\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 30\,\text{s} = 60\,\text{m}.$

Grafinis būdas. Pasirinktu masteliu abscisių ašyje atidedame kūnų judėjimo laiką t, o ordinačių ašyje – kūnų koordinates x_1 ir x_2. Užrašome kūnų judėjimo lygtis: $x_1 = v_1 t$; $x_2 = x_{02} + v_2 t$.

Nubraižome kūnų judėjimo grafikus (I – pirmojo kūno, II – antrojo kūno) (2.1 pav.). Randame jų susikirtimo taško C koordinates: t_1 = 30 s; $x_1 = x_2$ = 150 m. Vadinasi, pirmasis kūnas pasivys antrąjį po 30 s. Kūnų poslinkiai tada bus lygūs $s_{1x} = x_1$ = 150 m ir $s_{2x} = x_2 - x_{02}$ = 60 m.



2.1 pav.

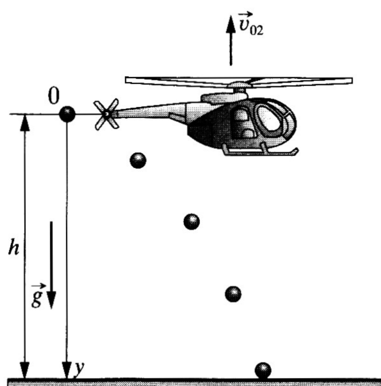
Atsakymas. Pirmasis kūnas pasivys antrąjį po 30 s. Pirmojo kūno poslinkis tada bus 150 m, o antrojo – 60 m.

2.4 pavyzdys

Iš sraigtasparnio 300 m aukštyje virš žemės paviršiaus išmetamas krovinys. Per kiek laiko krovinys nukris, jeigu išmetimo momentu: a) sraigtasparnis leidžiasi 5 m/s greičiu; b) sraigtasparnis nejuda; c) sraigtasparnis kyla 5 m/s greičiu?

y = h = 300 m
v_{01} = 5 m/s
v_{02} = 0
v_{03} = –5 m/s

t_1 – ? t_2 – ? t_3 – ?



2.2 pav.

Sprendimas

y ašį nukreipiame vertikaliai žemyn, koordinačių pradžia laikome krovinio vietą išmetimo momentu, o laiko atskaitos pradžia – išmetimo momentą. Judėjimo lygtį užrašome projekcijomis į y ašį: $y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}$ (**1**);

čia y_0 = 0; o $a_y = g$ = 9,8 m/s² ≈ 10 m/s². Kai krovinys pasiekia žemę, jo koordinatė y = 300 m.

a) Jeigu krovinys išmetamas iš judančio sraigtasparnio, tai krovinio greitis lygus sraigtasparnio greičiui, t. y. v_{0y} = 5 m/s. Į **1** lygtį įrašę y_0, a_y ir v_{0y} vertes, gauname judėjimo lygtį $y = 5t_1 + 5t_1^2$. Vietoj y įrašę 300 m, gauname, kad $5t_1 + 5t_1^2 = 300$, arba $5t_1^2 + 5t_1 - 300 = 0$. Išsprendę šią kvadratinę lygtį, randame t_1: t_1 = 7,3 s.

b) Kai sraigtasparnis nejuda, tai v_{0y} = 0. Judėjimo lygtis bus tokia: $y = 5t_2^2$. Vietoj y įrašę 300 m, gauname: $5t_2^2 = 300$. Išsprendę lygtį, randame t_2: t_2 = 7,8 s.

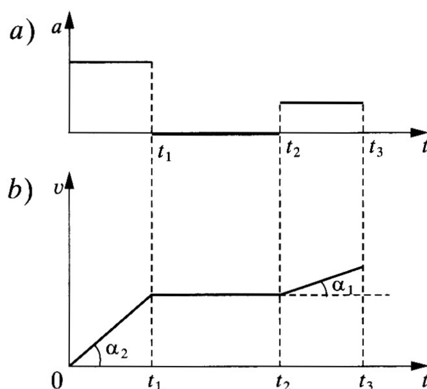
c) Kai sraigtasparnis kyla, pradinio greičio v_{0y} kryptis yra priešinga pasirinktos y ašies krypčiai ir judėjimo lygtis užrašoma taip: $y = -5t_3 + 5t_3^2$. Vietoj y įrašę

300 m, gauname $-5t_3 + 5t_3^2 = 300$, arba $5t_3^2 - 5t_3 - 300 = 0$. Išsprendę šią kvadratinę lygtį, sužinome, kad t_3 = 8,3 s.

Atsakymas. Sraigtasparniui leidžiantis, išmestas krovinys nukris po 7,3 s; sraigtasparniui nejudant, – po 7,8 s ir jam kylant, – po 8,3 s.

2.5 pavyzdys

Kūno pagreičio laikui bėgant kitimas parodytas 2.3 paveikslo *a* dalyje. Pradinis kūno greitis lygus nuliui. Nubraižykite jo greičio priklausomybės nuo laiko grafiką.



2.3 pav.

Sprendimas

Per laiko tarpą nuo 0 iki t_1 kūno pagreitis nekito (a_1 = const), todėl kūnas judėjo tolygiai greitėdamas, o jo greitis didėjo tiesiog proporcingai. Per laikotarpį nuo t_1 iki t_2 kūno greitis nekito, o pagreitis buvo lygus nuliui (a_2 = 0), – tai tolygusis judėjimas. Per laikotarpį nuo t_2 iki t_3 judėjimas buvo tolygiai greitėjantis (a_3 = = const), tačiau tuo metu kūno pagreitis buvo mažesnis ($a_3 < a_1$). Atkarpų, vaizduojančių greičio priklausomybę nuo laiko, posvyrio kampų tangentai susiję šitaip: tg $\alpha_2 <$ tg α_1. Vadinasi, kūno greičio priklausomybės nuo laiko grafikas yra toks, koks parodytas 2.3 paveikslo *b* dalyje.

2.6* pavyzdys

Greitas dangoraižio liftas tolygiai kyla 3 m/s greičiu. Nubraižykite poslinkio grafiką ir iš jo nustatykite, per kiek laiko liftas pakils į 90 m aukštį (į 26-tą aukštą).

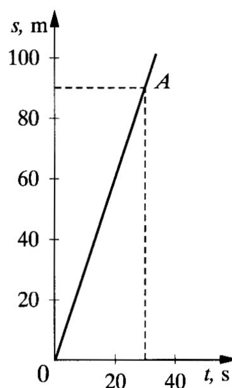
Sprendimas

v = 3 m/s
h = 90 m

t – ?

y ašį nukreipiame lifto judėjimo kryptimi, o ašies pradžią sutapatiname su tašku, kuriame liftas buvo pradiniu laiko momentu. Tada galime užrašyti, kad $h_0 = 0$, o $h = vt$. Vadinasi, $s = h - h_0 = vt$.

Braižydami poslinkio grafiką, abscisių ašyje atidedame laiką t, ordinačių ašyje – poslinkį s. Poslinkio priklausomybę nuo laiko vaizduoja tiesė $0A$, kurios posvyrio į ašį kampo tangento skaitinė vertė lygi greičiui v (2.4 pav.). Iš grafiko nustatome, kad liftas pakils į 90 m aukštį per 30 s.



2.4 pav.

Atsakymas. Liftas pakils į 26-tą aukštą per 30 s.

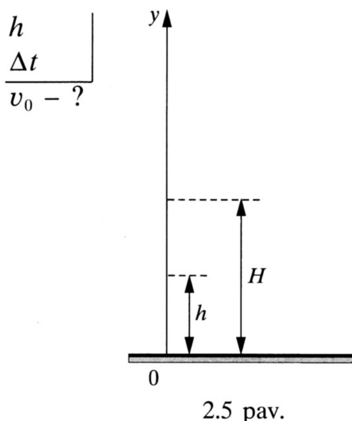
2.7* pavyzdys

Sviedinys, išmestas vertikaliai aukštyn, pralėkė pro h aukštyje esantį tašką du kartus (laiko intervalas Δt). Apskaičiuokite, kokiu pradiniu greičiu buvo išmestas sviedinys.

h

Δt

v_0 – ?



2.5 pav.

Sprendimas

y ašį nukreipiame vertikaliai aukštyn, o ašies pradžia pasirenkame žemės paviršių (tašką 0) (2.5 pav.). Didžiausią sviedinio pakilimo aukštį pažymime raide H. Užrašome sviedinio judėjimo lygtis laiko momentu t ir $t + \Delta t$:

$h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$; $h = v_0(t + \Delta t) - \frac{g(t + \Delta t)^2}{2}$ (**1**). Pertvarkę **1** lygtį, gauname:

$$v_0 t - \frac{gt^2}{2} = v_0 t + v_0 \Delta t - \frac{gt^2}{2} - gt\Delta t - \frac{g\Delta t^2}{2}.$$

Iš čia $t = \frac{(2v_0 - g\Delta t)}{2g}$ (**2**). Įrašome **2** išraišką į **1**:

$h = v_0\left(\frac{2v_0 - g\Delta t}{2g}\right) - \frac{g}{2}\left(\frac{2v_0 - g\Delta t}{2g}\right)^2 = \frac{4v_0^2 - g^2\Delta t^2}{8g}$. Iš šios lygties išreiškiame v_0:

$$v_0 = \sqrt{8gh + g^2\frac{\Delta t^2}{2}}.$$

Atsakymas. Pradinis sviedinio metimo greitis apibūdinamas formule

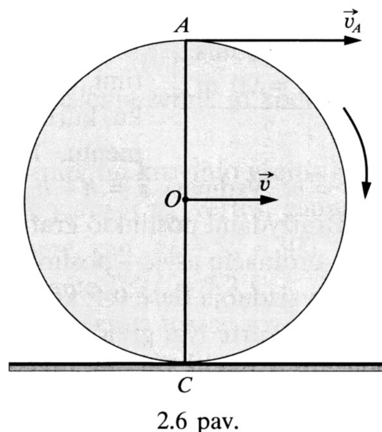
$$v_0 = \sqrt{8gh + g^2\frac{\Delta t^2}{2}}.$$

2.8* pavyzdys

Apskaičiuokite automobilio rato ratlankio viršutinio taško linijinį greitį Žemės atžvilgiu, jeigu automobilis juda 72 km/h greičiu.

$v = 72\frac{\text{km}}{\text{h}} = 20\frac{\text{m}}{\text{s}}$

v_A – ?



2.6 pav.

Sprendimas

Taškas O kelio dangos atžvilgiu yra rimtyje, jis yra rato sukimosi centras (2.6 pav.). Ratlankio viršutinio taško A linijinis greitis yra du kartus

didesnis negu taško O (rato ašies) linijinis greitis. Kadangi taškų A ir O kampiniai greičiai vienodi, o $AC = 2\ OC$, tai $v_A = 2v$; čia v – automobilio judėjimo greitis. Įrašę dydžių vertes, gauname: $v_A = 2 \cdot 20\frac{\text{m}}{\text{s}} = 40\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

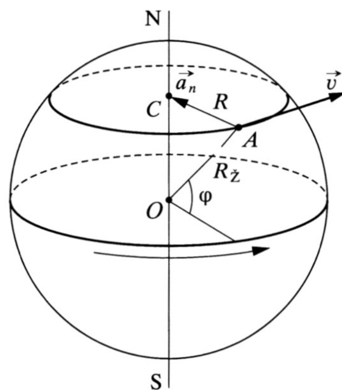
Atsakymas. Ratlankio viršutinio taško linijinis greitis lygus 40 m/s.

2.9* pavyzdys

Lietuvos sostinė Vilnius yra 54,7° platumoje. Raskite jį atitinkančio taško linijinį greitį ir normalinį (įcentrinį) pagreitį, kurie atsiranda dėl Žemės sukimosi apie savo ašį. Žemės spindulys lygus 6370 km.

$\varphi = 54{,}7°$
$R_Ž = 6370\ \text{km} = 6{,}37 \cdot 10^6\ \text{m}$
$T = 1\ \text{para} = 24\ \text{h} = 86\,400\ \text{s}$

v –? a_n – ?



2.7 pav.

Sprendimas

Žemei sukantis apie ašį NS (2.7 pav.), einančią per geografinius polius, taškas A, atitinkantis Vilniaus padėtį Žemės rutulyje, sukasi apskritimu, kurio spindulys $R = CA = R_Ž \cos\varphi$; čia $R_Ž = OA$ – Žemės spindulys; φ – Vilniaus platuma. Per parą nueitas taško A kelias s išreiškiamas lygtimi $s = 2\pi R = 2\pi R_Ž \cos\varphi$.

Tada linijinio greičio lygtis yra $v = \frac{2\pi R_Ž \cos\varphi}{T}$. Įrašę dydžių vertes, randame linijinį greitį: $v = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 6{,}37 \cdot 10^6\,\text{m} \cdot \cos 54{,}7°}{86400\,\text{s}} = 268\frac{\text{m}}{\text{s}} = 964{,}8\frac{\text{m}}{\text{h}}$.

Taško A normalinis (įcentrinis) pagreitis aprašomas formule $a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{R_Ž \cos\varphi}$.

Įrašę vertes, apskaičiuojame: $a_n = \frac{\left(268\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{6{,}37 \cdot 10^6\ \text{m} \cdot \cos 54{,}7°} = 0{,}020\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Šis pagreitis nukreiptas statmenai Žemės sukimosi ašiai NS.

Atsakymas. Linijinis greitis lygus 268 m/s (arba 964,8 km/h), o normalinis (įcentrinis) pagreitis – 0,020 m/s².

Į įcentrinio pagreičio dydį atsižvelgiama nustatant tikslią laisvojo kritimo pagreičio g vertę tam tikroje platumoje.

2.10* pavyzdys

Apskaičiuokite traktoriaus stūmoklio vidutinį judėjimo greitį, jeigu stūmoklio eiga 130 mm, o alkūninio veleno apsisukimų per minutę skaičius lygus 1500 .

$s = 130 \text{ mm} = 0{,}13 \text{ m}$

$\nu = 1500 \dfrac{\text{aps}}{\text{min}} = 25 \dfrac{\text{aps}}{\text{s}}$

$v - ?$

Sprendimas

Vidutinis greitis apskaičiuojamas pagal formulę $v = \dfrac{s}{t}$. Kadangi alkūniniam velenui apsisukant vieną kartą, stūmoklis atlieka dvi eigas, todėl $v = \dfrac{2s}{T}$; čia s – stūmoklio eiga, T – periodas (vieno apsisukimo laikas), $T = \dfrac{1}{\nu}$. Iš čia išplaukia, kad $v = 2s\nu$.

Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname: $v = 2 \cdot 0{,}13 \text{ m} \cdot 25 \dfrac{\text{aps}}{\text{s}} = 6{,}5 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$.

Atsakymas. Traktoriaus stūmoklio vidutinis greitis lygus 6,5 m/s.

Kinematikos pagrindai

2.1. Paaiškinkite šias sąvokas: slenkamasis judėjimas, materialusis taškas, atskaitos sistema, kelias ir poslinkis.

2.2. Dviejų kūnų centrų trajektorijos susikerta. Ar susiduria šie kūnai? Atsakymą pagrįskite.

2.3. Autobusas, prieš sugrįždamas į garažą, šeštadienį padarė dešimt reisų, o sekmadienį – du kartus daugiau. Kurią dieną autobusas: a) nuvažiavo ilgesnį kelią; b) atliko didesnį poslinkį?

2.4. Kokios formos turi būti taško trajektorija, kad jo nueito kelio ir poslinkio moduliai būtų lygūs? Kodėl?

2.5. Traukinys važiuoja į rytus (Žemės paviršiaus atžvilgiu). Kuria kryptimi (taip pat Žemės atžvilgiu) skrenda lėktuvas, jei jo keleiviui, stebinčiam traukinį pro iliuminatorių, atrodo, kad traukinys: a) stovi; b) važiuoja į vakarus; c) važiuoja į pietus?

2.6. Nuo tolygiai ir tiesiai plaukiančio laivo stiebo laisvai (į oro pasipriešinimą neatsižvelgiama) krinta kūnas. Ar vienodos kūno kritimo trajektorijos atskaitos sistemose, susijusiose su laivu ir su Žeme?

2.7. Kūnas perėjo iš taško, kurio koordinatės $x_0 = 1$ m, $y_0 = 4$ m, į tašką, kurio koordinatės $x = 5$ m, $y = 1$ m. Apskaičiuokite poslinkio vektoriaus ilgį ir jo projekcijas koordinačių ašyse x ir y.

2.8. Sviedinys nukrito iš 3 m aukščio, atšoko nuo grindų ir buvo sugautas 1 m aukštyje. Apskaičiuokite sviedinio nueitą kelią ir poslinkį.

2.9. Kūnas pasislinko iš taško, kurio koordinatės $x_0 = 0$ m, $y_0 = 2$ m, į tašką, kurio koordinatės $x = 4$ m, $y = -1$ m. Nubraižykite brėžinį, raskite kūno poslinkį ir jo projekcijas koordinačių ašyse x ir y.

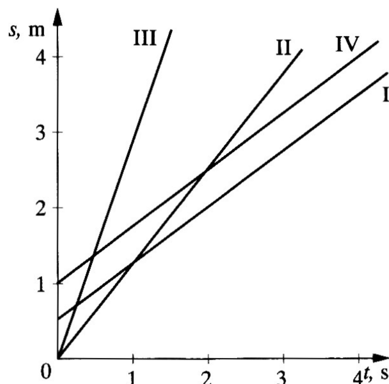
2.10. Kateris nuplaukė 2 km ežeru į šiaurės rytus, po to – dar 1 km į šiaurę. Grafiškai nustatykite katerio poslinkio vektoriaus modulį ir kryptį.

2.11.* Pateikite brėžiniu poslinkio vektorių, einantį 45° kampu į šiaurės rytus, iš taško, nutolusio 1 km atstumu į rytus ir 2 km atstumu į šiaurę nuo kelių sankryžos. Nustatykite to vektoriaus galo koordinates, jeigu jo modulis lygus 25 km.

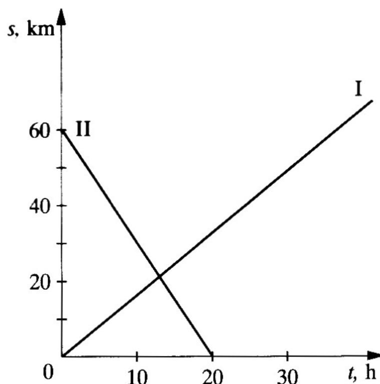
2.12.* Turistas išėjo iš punkto, nutolusio 2 km atstumu į rytus ir 1 km atstumu į šiaurę nuo kelių sankryžos, ir per 1 h nuėjo 5 km kryptimi, kuri sudaro 135° kampą su rytų kryptimi. Nustatykite turisto vietą šiaurės ir vakarų krypčių atžvilgiu.

Tiesiaeigis tolygusis judėjimas

2.13. Kokios rūšies judėjimą vaizduoja kiekvienas 2.8 paveikslo grafikas? Kokiu greičiu judėjo kūnai, kurių kelio priklausomybę nuo laiko atitinka grafikai I, II, III, IV? Parašykite kūnų judėjimo lygtis pagal I, II, IV grafikus.



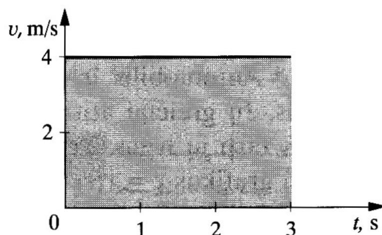
2.8 pav.



2.9 pav.

2.14. Kokia yra 2.9 paveiksle pavaizduotų grafikų sankirtos taško fizikinė prasmė? Kuris grafikas atitinka judėjimą didesniu greičiu? Ar galima iš šių grafikų nustatyti judėjimo trajektorijas?

2.15. Kokios rūšies judėjimas pavaizduotas 2.10 paveiksle? Kokį kelią nuėjo kūnas per pirmąsias 3 s? Kokio fizikinio dydžio vertė lygi nuspalvintam grafiko plotui? Naudodamiesi šiuo grafiku, užrašykite kūno judėjimo lygtį ir nubraižykite kelio priklausomybės nuo laiko grafiką. Kokį kelią kūnas nuėjo per pirmąsias 4 s?

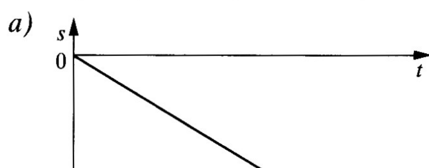


2.10 pav.

2.16. Materialusis taškas juda tiesiai. Nutolęs nuo pradinio taško 1000 m, jis pasuka atgal ir, nuėjęs priešinga kryptimi 1200 m, sustoja. Apskaičiuokite jo poslinkį ir nueitą kelią. Ar poslinkis gali būti neigiamas? Ar gali būti neigiamas nueitas kelias? Atsakymą pagrįskite.

2.17. Materialiojo taško judėjimas apibūdinamas lygtimis $y = 1 + 2t$, $x = 2 + t$. Užrašykite trajektorijos (kelio) lygtį ir nubraižykite jos grafiką. Nurodykite taško padėtį laiko momentu $t = 0$, judėjimo kryptį ir greitį.

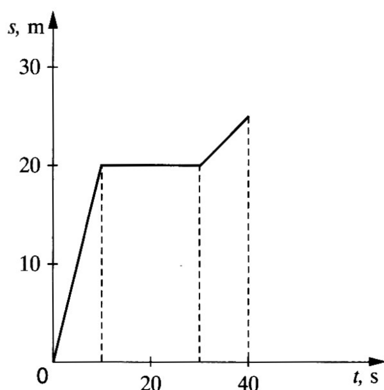
2.18. Pasinaudodami poslinkio grafiku (2.11 pav., *a*), nubraižykite greičio grafiką ir nustatykite, kokio pobūdžio yra kūno judėjimas *x* ašies atžvilgiu (2.11 pav., *b*).



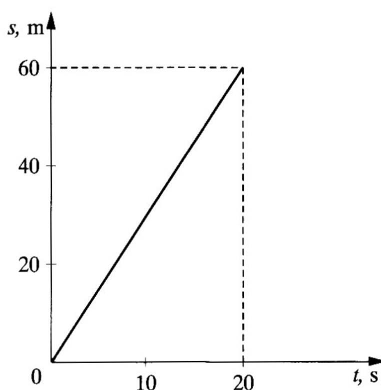


2.11 pav.

2.19. Iš 2.12 paveiksle pavaizduoto grafiko nustatykite, kaip judės šis kūnas.



2.12 pav.



2.13 pav.

2.20. Remdamiesi 2.13 paveiksle pateiktu kūno judėjimo grafiku, nubraižykite jo greičio grafiką.

2.21. Tolygiai 12 m/s greičiu važiuojančio automobilio poslinkis per 10 s buvo toks pat, koks kito tolygiai važiuojančio automobilio poslinkis per 15 s. Kokiu greičiu važiavo antrasis automobilis?

2.22.* Patyręs badmintono žaidėjas, prieš atmušdamas greitai skriejantį kamuoliuką, staigiai pasitraukia atbulas. Kodėl taip jam pavyksta tiksliau smūgiuoti?

2.23. * Automobilis ir motociklininkas juda vienas kito atžvilgiu priešingomis kryptimis. Jų greičiai atitinkamai lygūs 20 m/s ir 5 m/s. Pradiniu laiko momentu atstumas tarp jų lygus 250 m. Užrašykite šių kūnų judėjimo lygtis ir nubraižykite judėjimo grafikus $x = x(t)$. Atskaitos sistemą susiekite su žeme. Atkreipkite dėmesį į tai, kad laiko momentu $t = 0$ automobilis buvo koordinačių pradžios taške ir judėjo *x* ašies kryptimi.

Grafiniu ir analitiniu būdu apskaičiuokite: a) automobilio ir motociklininko susitikimo vietą ir laiką; b) kuris iš jų anksčiau ir kiek anksčiau nuvažiuos 100 m; c) atstumą tarp jų po 5 s; d) kur buvo automobilis, kai motociklininkas važiavo pro tašką, kurio koordinatė *x* ašyje lygi 225 m; e) kuriuo laiko momentu motociklininkas važiavo pro tašką, kuriame automobilis buvo praėjus 7,5 s nuo judėjimo pradžios; f) kuriais laiko momentais atstumas tarp jų buvo 125 m; g) taško, kurį automobilis pravažiavo 12,5 s anksčiau negu motociklininkas, koordinates.

Judėjimo reliatyvumas

2.24. Ar gali žmogus, esantis ant judančio metro eskalatoriaus, būti rimtyje atskaitos sistemoje, susietoje su žeme?

2.25. Metro eskalatorius juda 0,75 m/s greičiu. Apskaičiuokite laiką, kurį sugaišta keleivis pasislinkdamas 20 m žemės atžvilgiu, jeigu jis eina eskalatoriaus judėjimo kryptimi 0,25 m/s greičiu eskalatoriaus atžvilgiu?

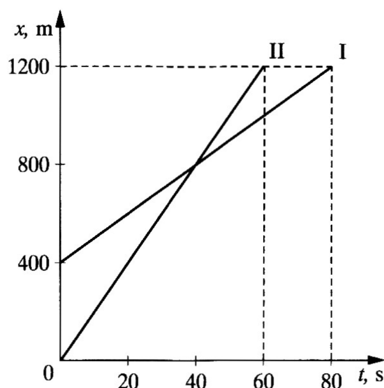
2.26. Du traukiniai juda vienas prieš kitą 72 km/h ir 54 km/h greičiu. Pirmajame traukinyje esantis keleivis pastebėjo, kad antrasis traukinys pro jį važiavo 14 s. Koks antrojo traukinio ilgis?

2.27. Kateris plaukia statmenai upės vandens tėkmei 4 m/s greičiu atskaitos sistemos, susietos su vandeniu, atžvilgiu. Kokiu atstumu vanduo nuneš katerį į šoną, jeigu upės plotis 800 m, o jos tėkmė 1 m/s?

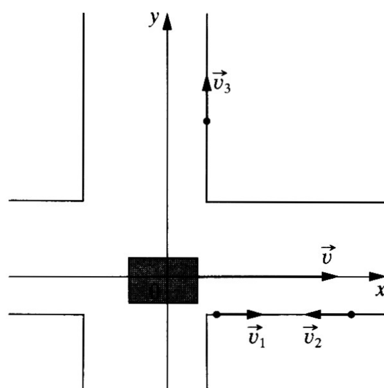
2.28. Ramiu oru malūnsparnis skrido 90 km/h greičiu šiaurės kryptimi. Apskaičiuokite malūnsparnio greitį ir skridimo kryptį, kai papūtė šiaurės vakarų vėjas kryptimi, kuri sudaro 45° su meridianu. Vėjo greitis 10 m/s.

2.29.* Du materialieji taškai juda tarpusavyje statmenomis kryptimis 4 m/s ir 3 m/s greičiu. Kokiu greičiu jie tolsta vienas nuo kito? Kiek pasislinks pirmasis kūnas per pirmąsias 10 s atskaitos sistemoje, susijusioje su antruoju kūnu? Pradiniu momentu kūnai buvo koordinačių pradžios taške.

2.30.* 2.14 paveiksle pavaizduoti dviratininko (*I*) ir motociklininko (*II*) judėjimo grafikai atskaitos sistemos, susietos su žeme, atžvilgiu. Užrašykite dviratininko judėjimo lygtį atskaitos sistemoje, susietoje su motociklininku, ir nubraižykite tos lygties grafiką.



2.14 pav.



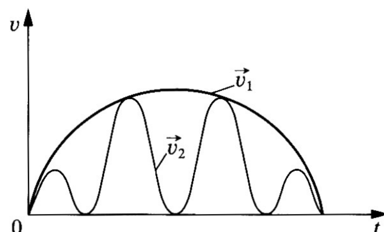
2.15 pav.

2.31.* Atskaitos sistemoje, susietoje su žeme, tramvajus juda greičiu $v = 2{,}4$ m/s (2.15 pav.), o trys pėstieji – vienodo modulio greičiais $v_1 = v_2 = v_3 = 1$ m/s. Apskaičiuokite: a) pėsčiųjų greičio modulius tramvajaus atžvilgiu; b) pėsčiųjų greičių vektorių projekcijas šioje atskaitos sistemoje.

Tiesiaeigis tolygiai kintamas judėjimas

2.32. 2.16 paveiksle pavaizduota, kaip priklauso dviejų materialiųjų taškų greičiai v_1 ir v_2 nuo laiko t tame pačiame laiko intervale. Kurio šių taškų vidutinis greitis yra didesnis duotame laiko intervale? Kuris iš jų nuėjo didesnį kelią? Kuris iš šių taškų įgijo didesnį momentinį pagreitį?

2.33. Tarkime, kad apie taškų, kurių greičio grafikai nubraižyti 2.16 paveiksle, trajektorijų formas nieko nežinome. Ką galime pasakyti apie šių taškų pagreičius?



2.16 pav.

2.34. Kūno greitis pirmojoje kelio pusėje lygus 20 km/h, antrojoje – 80 km/h. Kokiu vidutiniu greičiu kūnas judėjo visą kelią?

2.35. Per pirmąsias dvi valandas motociklininkas nuvažiavo 90 km, o likusias tris valandas važiavo 50 km/h greičiu. Koks yra vidutinis judėjimo greitis?

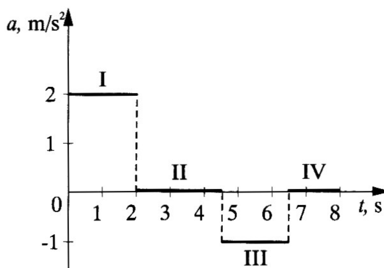
2.36. Pirmąją pusę kelio automobilis važiavo 70 km/h vidutiniu greičiu, kitą pusę – 30 km/h vidutiniu greičiu. Koks yra automobilio vidutinis greitis?

2.37. Per 20 s automobilio greitis sumažėjo nuo 20 m/s iki 10 m/s. Kokiu pagreičiu važiavo automobilis?

2.38. Įkalne 0,1 m/s^2 pagreičiu judančio kūno greitis sumažėjo nuo 54 km/h iki 36 km/h. Apskaičiuokite kūno judėjimo laiką.

2.39. Stabdomas 20 m/s greičiu važiuojantis automobilis. Jo pagreitis – 5 m/s^2. Automobilis sustoja ir tokiu pat pagreičiu važiuoja atgal. Raskite kūno greitį praėjus 3 s ir 5 s nuo judėjimo pradžios. Nubraižykite automobilio greičio projekcijos x ašyje kitimo grafiką.

2.40. Kokios rūšies judėjimą vaizduoja kiekviena 2.17 paveikslo grafiko dalis? Kiek ir kaip pakinta kūno greitis per laiko tarpus, atitinkančius kiekvieną dalį?



2.17 pav.

2.41. Iš aukštai krinta dėžutė, o jos centre yra rutuliukas, neliečiantis sienelių. Kaip juda rutuliukas krintančios dėžutės sienelės atžvilgiu? Oro pasipriešinimo nepaisykite.

2.42. Kūno judėjimo lygtis $x = 5t + 0{,}8t^2$. Raskite pagreitį ir pradinį judėjimo greitį.

2.43. Tiesiai judantis materialusis taškas sustojo 1 km atstumu nuo pradinio taško. Po to 1,2 km jis judėjo priešinga kryptimi. Apskaičiuokite šio taško poslinkį ir nueitą kelią.

2.44. Važiuodamas pastoviu greičiu, automobilis padidino greitį nuo 48 km/h iki 96 km/h. Kokį kelią jis nuvažiavo greitėdamas?

2.45. Automobilis per 20 s sulėtino greitį nuo 96 km/h iki 32 km/h. Koks yra jo judėjimo pagreitis?

2.46. Motorlaivis pradėjo plaukti pastoviu 0,10 m/s^2 pagreičiu. Per kiek laiko jis įgijo 18 km/h greitį ir kokį kelią nuplaukė per tą laiką?

2.47. Po kiek laiko pradėjęs važiuoti motociklininkas 1 km ruožą pravažiavo pastoviu 0,8 m/s^2 pagreičiu? Kokį greitį jis įgijo to ruožo pabaigoje?

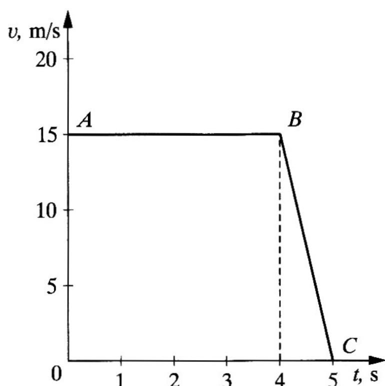
2.48. Po 10 s nuo judėjimo pradžios traukinys įgijo 0,6 m/s greitį. Po kiek laiko nuo judėjimo pradžios traukinio greitis bus lygus 3 m/s?

2.49. Automobilio greitį įsibėgėjimo metu apibūdina lygtis $v_x = 0{,}8t$. Nubraižykite šios lygties grafiką ir apskaičiuokite automobilio greitį baigiantis penktajai sekundei.

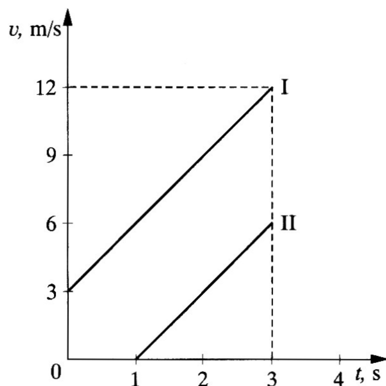
2.50. Traukinio greitis per 20 s sumažėjo nuo 72 km/h iki 54 km/h. Užrašykite greičio priklausomybės nuo laiko $v_x(t)$ lygtį ir nubraižykite jos grafiką.

2.51. Lėktuvas reikalingą pakilimui 250 km/h greitį įgyja 1 km ilgio pakilimo tako gale. Kiek laiko reikia lėktuvui įsibėgėti? Koks jo pagreitis? Kokiu vidutiniu greičiu jis rieda pakilimo taku? Lėktuvas juda tolygiai greitėdamas.

2.52. Iš 2.18 paveiksle pavaizduoto grafiko nustatykite: a) kūno judėjimo rūšį *AB* ir *BC* dalyse; b) kokiu pagreičiu judėjo kūnas minėtuose ruožuose; c) kokį kelią nuėjo kūnas per paskutiniąsias dvi judėjimo sekundes?



2.18 pav.



2.19 pav.

2.53. Iš 2.19 paveiksle pavaizduotų grafikų nustatykite kiekvieno kūno judėjimo pagreitį bei greitį praėjus 2 s nuo pirmo kūno judėjimo pradžios. Kuo skiriasi šių kūnų judėjimas? Parašykite kūnų judėjimo lygtis.

2.54. Kokiu greičiu gali nusileisti lėktuvai ant aerouosto tako, kurio ilgis 800 m, jeigu jų stabdymo pagreičiai $a_1 = -2{,}7$ m/s^2 ir $a_2 = -5{,}07$ m/s^2?

2.55. Kūnas krinta iš 490 m aukščio. Nustatykite kūno judėjimo greitį atsitrenkimo į žemę metu.

2.56. Kokiu greičiu siurblys išmeta vandenį vertikaliai aukštyn, jei vanduo pasiekia 19,6 m aukštį?

2.57. Strėlė, paleista iš lanko vertikaliai aukštyn 25 m/s greičiu, kliudė taikinį po 2 s. Koks buvo strėlės greitis prie pat taikinio?

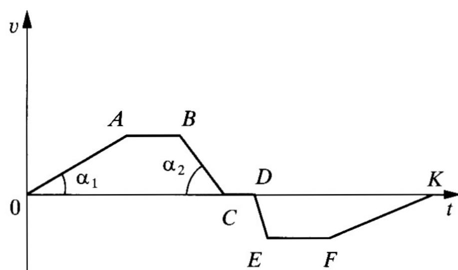
2.58. Slidininkas 100 m ilgio nuokalnę nučiuožė per 20 s, judėdamas 0,3 m/s^2 pagreičiu. Koks yra slidininko greitis nuokalnės pradžioje ir pabaigoje?

2.59.* Kūnas krinta iš 490 m aukščio. Raskite jo poslinkį per paskutinę kritimo sekundę.

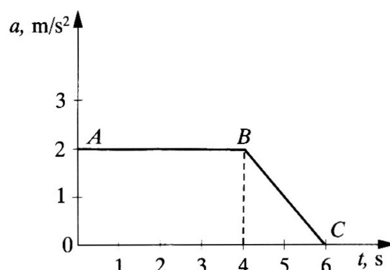
2.60.* Sviedinys nukrito ant plokščio paviršiaus iš 20 m aukščio ir vėl pašoko 5 m aukštį. Koks buvo jo greitis tuo momentu, kai jis palietė paviršių? Per kiek laiko jis pakilo į aukščiausią tašką? Kokiu greičiu jis atšoko?

2.61.* Per 10 s traukinio greitis tolygiai padidėjo nuo 36 km/h iki 54 km/h, po to 0,3 min traukinys važiavo tolygiai. Raskite traukinio judėjimo vidutinį greitį ir nubraižykite greičio bei poslinkio grafikus.

2.62.* Kaip važiavo motociklininkas, kurio greičio grafikas parodytas 2.20 paveiksle?



2.20 pav.



2.21 pav.

2.63.* 2.21 paveiksle pateiktas pagreičio priklausomybės nuo laiko grafikas. Kaip judėjo kūnas nuo atskaitos pradžios momento iki 4-tos sekundės pabaigos (grafiko dalis AB) ir kaip – laikotarpiu, atitinkančiu grafiko dalį BC? Kuriuo momentu kūno greitis buvo didžiausias? Kokio didumo buvo šis greitis, jeigu $v_0 = 0$?

2.64.* Pradiniu laiko momentu atstumas tarp dviejų kūnų buvo lygus 6,9 m. Pirmasis kūnas pradėjo judėti 0,2 m/s^2 pagreičiu. Antrasis kūnas judėjo paskui pirmąjį pradiniu 2 m/s greičiu ir 0,4 m/s^2 pagreičiu. Užrašykite judėjimo lygtis $x = x(t)$ atskaitos sistemoje, kurioje pradiniu laiko momentu ($t = 0$) kūnų koordinatės buvo $x_1 = 6{,}9$ m; $x_2 = 0$. Nustatykite kūnų susitikimo vietą ir laiką.

2.65.* Dviejų motociklininkų judėjimas apibūdinamas lygtimis $x_1 = 15 + t^2$ ir $x_2 = 8t$. Išnagrinėkite kiekvieno motociklininko judėjimą, nustatykite jų susitikimo vietą ir laiką.

Kūno judėjimas apskritimu

2.66. Automobilis važiuoja kelio posūkiu. Ar vienodą atstumą nurieda dešinieji ir kairieji automobilio ratai? Atsakymą pagrįskite.

2.67. Kodėl pirmojo dirbtinio Žemės palydovo nešančioji raketa, atsiskyrusi nuo palydovo, ėmė jį lenkti (žiūrint iš Žemės)?

2.68. Traktoriaus priekinių ratų skersmuo du kartus mažesnis už galinių ratų skersmenį. Palyginkite šių ratų sukimosi dažnį judant traktoriui.

2.69. Velenas, pradėjęs suktis, per pirmąsias 10 s apsisuka 50 kartų. Koks yra jo sukimosi periodas, dažnis ir kampinis dažnis?

2.70. Diskas, kurio skersmuo 1,6 m, vieną kartą apsisuka per 0,1 s. Koks yra taškų, labiausiai nutolusių nuo disko centro, linijinis greitis?

2.71. Automobilis važiuoja kelio posūkiu pastoviu 80 km/h greičiu. Posūkio skersmuo lygus 1,6 km. Koks yra automobilio judėjimo periodas ir kampinis greitis?

2.72. 20 cm skersmens skriemulys per 3 min apsisuka 300 kartų. Raskite jo ratlankio taško sukimosi periodą, kampinį ir linijinį greitį.

2.73. Ratui tolygiai sukantis, ratlankio taškas juda 2,5 karto didesniu greičiu negu taškas, esantis 5 cm arčiau rato ašies. Koks yra rato spindulys?

2.74. Hidroelektrinės turbinos skersmuo 9 m. Kokiu greičiu juda turbinos menčių galai, kai ji per 1 min padaro 68,2 sūkio?

2.75. Palydovo orbitos vidutinis aukštis virš Žemės paviršiaus lygus 1200 km, sukimosi periodas 105 min. Apskaičiuokite vidutinį palydovo skriejimo orbita greitį.

2.76. Čiuožėjas juda apskritimu, kurio spindulys 50 m, 12 m/s greičiu. Nustatykite čiuožėjo judėjimo įcentrinį pagreitį.

2.77.* Kokiu greičiu ir kokia kryptimi turėtų judėti lėktuvas, skrendantis šešiasdešimtąja lygiagrete, kad į numatytą vietą atskristų anksčiau (pagal vietinį laiką), negu jis išskrido iš išvykimo vietos? Ar tai įveikiama užduotis šiuolaikiniams keleiviniams lėktuvams?

2.78.* Saulės ekvatoriaus taškų, jai sukantis apie savo ašį, greitis lygus 2 km/s. Apskaičiuokite Saulės apsisukimo apie savo ašį periodą ir ekvatoriaus taškų įcentrinį pagreitį.

2.79.* Du materialieji taškai juda vienodo spindulio apskritimais ir vienodo modulio pagreičiais. Tačiau pirmojo taško pagreičio vektoriaus kryptis su liestine sudaro 45° kampą, o antrojo taško pagreičio vektorius nukreiptas į apskritimo centrą. Kurio tų taškų greičio modulis yra didesnis?

2.80.* Nustatykite Žemės sukimosi apie Saulę linijinį ir kampinį greičius bei įcentrinį pagreitį.

2.81.* Kokiu greičiu automobilis pravažiuos aukščiausią iškilo tilto, kurio spindulys 40 m, tašką, kad jo įcentrinis pagreitis būtų lygus laisvojo kritimo pagreičiui?

2.82.* Apskaičiuokite automobilio rato taškų, besiliečiančių su kelio danga, įcentrinį pagreitį, kai automobilis juda 72 km/h greičiu, o ratai sukasi 8 s^{-1} dažniu.

2.83.* Du materialieji taškai juda apskritimais, kurių spinduliai R_1 ir R_2. Žinoma, kad $R_1 = 2R_2$. Palyginkite jų įcentrinius pagreičius, kai: a) materialiųjų taškų greičiai yra lygūs; b) jų sukimosi periodai yra vienodi.

2.84.* Prisukamas vaikiškas automobilis, tolygiai judėdamas, per laiko tarpą t nuvažiavo atstumą s. Apskaičiuokite rato viršutinių taškų sukimosi dažnį ir įcentrinį pagreitį, kai rato skersmuo lygus d. Esant galimybei, uždavinio sąlygoje pateiktus dydžius eksperimentiškai patikrinkite ir išmatuokite.

3. Dinamika

		Inercinės atskaitos sistemos – tai tokios sistemos, kurių atžvilgiu kūnas, kompensuojantis išoriniams poveikiams, juda tolygiai ir tiesiai. Kūno savybė išlaikyti rimtį arba dalyvauti tiesiaeigiame tolygiajame judėjime vadinama inercija.	
Niutono dėsniai	I	Egzistuoja tokios atskaitos sistemos, kurių atžvilgiu kūno greitis nekinta, jei jį veikiančių jėgų vektorinė suma lygi nuliui. $\vec{v} = \text{const}; \quad \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + ... + \vec{F}_n = 0.$	
	II	Kūną veikiančių jėgų atstojamoji $\vec{F}$ lygi to kūno masės m ir jo pagreičio $\vec{a}$ sandaugai.	$\vec{F} = m\vec{a};$ $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n.$
	III	Kūnai veikia vienas kitą tos pačios prigimties jėgomis, kurių absoliučiosios reikšmės lygios, o kryptys priešingos.	$\lvert\vec{F}_1\rvert = -\lvert\vec{F}_2\rvert$
Jėgos gamtoje (mechanikoje)	Visuotinės traukos jėga	Visi kūnai traukia vienas kitą jėga, tiesiogiai proporcinga jų masių sandaugai ir atvirkščiai proporcinga atstumo tarp jų kvadratui. $\lvert\vec{F}\rvert = G\frac{Mm}{r^2}$; čia G – gravitacijos konstanta, $G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}\,\text{Nm}^2/\text{kg}^2$.	
	Sunkio jėga	Tai jėga, kuri atsiranda dėl žemės traukos buvimo ir veikia kūnus vertikaliai žemyn. $\lvert\vec{F}\rvert = m\lvert\vec{g}\rvert$; $g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$.	
	Kūno svoris	Tai jėga, kuria kūnas dėl žemės traukos buvimo veikia atramą arba pakabą vertikaliai žemyn. $\vec{P} = m(\vec{g} \pm \vec{a})$.	
	Tamprumo jėga	Tamprumo jėga yra kūno deformacijos metu atsirandanti jėga, nukreipta priešinga deformuojančio kūno dalelių pasislinkimui kryptimi. $\lvert\vec{F}_{\text{tampr}}\rvert = k\Delta l$; čia k – tamprumas, Δl – pailgėjimas (sutrumpėjimas).	
	Trinties jėga	Trinties jėga atsiranda judant (arba gulint judėti) vienam kūnui kito kūno paviršiumi ir visuomet yra nukreipta išilgai sąlyčio paviršiaus priešinga judėjimui kryptimi. $\lvert\vec{F}_{\text{tr}}\rvert = \mu\lvert\vec{N}\rvert$; čia μ – trinties koeficientas, N – slėgimo jėga.	

3.1 pavyzdys

2.9* pavyzdyje (žr. 2.7 pav.) apskaičiavome Vilniaus platumos taškų normalinio (įcentrinio) pagreičio, atsirandančio dėl Žemės sukimosi apie savo ašį, reikšmę. Jei Žemė nesisuktų, laisvojo kritimo pagreitis būtų g_0 = 9,832 m/s². Raskite, kokiu dydžiu sumažėja ši pagreičio reikšmė Vilniaus platumoje.

g_0 = 9,832 m/s²
φ = 54,7°
a_n = 0,019 m/s²

g – ?

Sprendimas

Žemėje, kaip neinercinėje atskaitos sistemoje, normalinį pagreitį atitinka priešingas išcentrinis pagreitis $a_{išc}$ = 0,019 m/s². Suprojektavę jį į Vilniaus platumos vertikalę, gauname, kad g_0 turi būti sumažintas dydžiu $\Delta g = a_{išc} \cdot \cos\varphi$. Įrašę žinomas dydžių vertes, gauname: Δg = 0,019 m/s² · cos 54,7° = 0,012 m/s².

Tikslesnė laisvojo kritimo pagreičio reikšmė apskaičiuojama pagal formulę $g = g_0 - 0{,}052\cos^2\varphi$. Vilniuje $g \approx 9{,}815$ m/s².

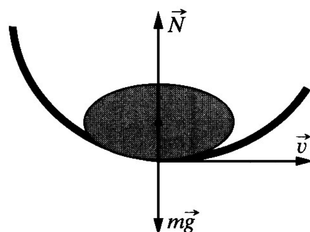
Atsakymas. Vilniaus platumoje pagreitis sumažėja apytiksliai 0,012 m/s².

3.2 pavyzdys

Lakūnas slegia sėdynę apatiniame „mirties kilpos“ taške 7100 N jėga. Kilpos spindulys 250 m, lakūno masė 80 kg. Apskaičiuokite lėktuvo greitį tame taške.

F = 7100 N
R = 250 m
m = 80 kg

v – ?



3.1 pav.

Sprendimas

Lakūną veikia sunkio jėga ir sėdynės tamprumo jėga (3.1 pav).

Taikome antrąjį Niutono dėsnį: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N}$, arba $ma_{įc} = N - mg$, nes tos jėgos suteikia lakūnui įcentrinį pagreitį $a_{įc} = \frac{v^2}{R}$.

Iš trečiojo Niutono dėsnio išplaukia, kad $N = F$. Tuomet lėktuvo greitis apatiniame „mirties kilpos“ taške lygus $v = \sqrt{\frac{(F - mg)R}{m}}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame v: $v = \sqrt{\frac{\left(7100\,\mathrm{N} - 80\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right) \cdot 250\,\mathrm{m}}{80\,\mathrm{kg}}} \approx 140\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 504\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{h}}$.

Atsakymas. Lėktuvo greitis apatiniame „mirties kilpos“ taške lygus apie 140 m/s, arba 504 km/h.

3.3 pavyzdys

54 km/h greičiu važiuojantis automobilis atsitrenkia į sieną. Smūgio trukmė 0,4 s. Vairuotojo masė 70 kg. Raskite saugos diržų vidutinę įtempimo jėgą.

$v_0 = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$\Delta t = 0{,}4$ s

$m = 70$ kg

$F - ?$

Sprendimas

Remiantis antruoju Niutono dėsniu, saugos diržų įtempimo jėga turi suteikti vairuotojui tokį pagreitį, kad jo greitis per 0,4 s sumažėtų nuo 15 m/s iki 0 m/s. Vadinasi, $F = ma = m\frac{v - v_0}{\Delta t}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname: $F = 70\,\text{kg}\,\frac{0 - 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}4\,\text{s}} = 2625\,\text{N} \approx 2{,}6\,\text{kN}.$

Atsakymas. Saugos diržų vidutinė įtempimo jėga apytiksliai lygi 2,6 kN.

3.4 pavyzdys

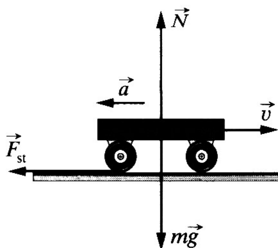
Vagonas, kurio masė 20 t, rieda 0,3 m/s² pagreičiu. Jo greitis stabdymo pradžioje lygus 54 km/h. Apskaičiuokite stabdymo jėgos modulį, stabdymo trukmę bei stabdymo kelią.

$m = 20\,\text{t} = 20 \cdot 10^3$ kg

$a = -0{,}3$ m/s²

$v_0 = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

$F_{st} - ?\ \ \Delta t - ?\ \ s - ?$



3.2 pav.

Sprendimas

Pagal antrąjį Niutono dėsnį $m\vec{a} = \vec{F}$, čia $\vec{F}$ – visų kūną veikiančių jėgų atstojamoji.

Vagoną veikia sunkio jėga $m\vec{g}$, atramos tamprumo jėga $\vec{N}$ ir stabdymo jėga $\vec{F}_{st}$ (3.2 pav.). Vadinasi, $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{st}$. Tą pačią lygtį užrašome projekcijomis horizontalioje ašyje: $ma = F_{st}$ **(1)** ir vertikalioje ašyje: $0 = N - mg$ (tamprumo jėga atsveria sunkio jėgą). Iš **1** lygties apskaičiuojame stabdymo jėgos skaitinę vertę:

$F_{st} = 20 \cdot 10^3\,\text{kg} \cdot 3\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 6\,\text{kN}.$

Kadangi vagonas rieda tolygiai lėtėdamas, tai galinis greitis lygus nuliui: $0 = v_0 - a\Delta t$. Iš čia randame vagono stabdymo trukmę Δt: $\Delta t = \frac{v_0}{a}$; $\Delta t = \frac{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}3\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 50\,\text{s}.$

Vagono stabdymo kelias apskaičiuojamas pagal lygtį $s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$, arba $s = \frac{v_0^2}{2a}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame s:

$$s = \frac{\left(15\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \cdot 0{,}3\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 375\ \mathrm{m}.$$

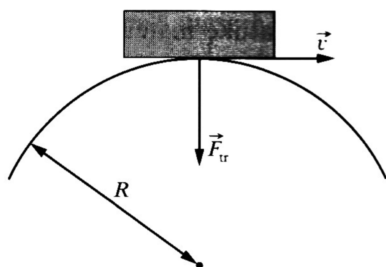
Atsakymas. Vagoną veikia 6 kN stabdymo jėga. Vagonas sustos po 50 s, nuvažiavęs 375 m.

3.5 pavyzdys

Automobilis juda pastoviu greičiu horizontalaus kelio 40 m spindulio apskritimo lanko formos posūkiu (3.3 pav.). Kokiu didžiausiu greičiu gali judėti automobilis neslysdamas į šoną, jei padangos šoninės trinties koeficientas lygus 0,7 (esant sausam asfaltui) ir 0,2 (esant plikledžiui)?

$R = 40$ m
$\mu_1 = 0{,}7$
$\mu_2 = 0{,}2$

$v_1 - ?\ v_2 - ?$



3.3 pav.

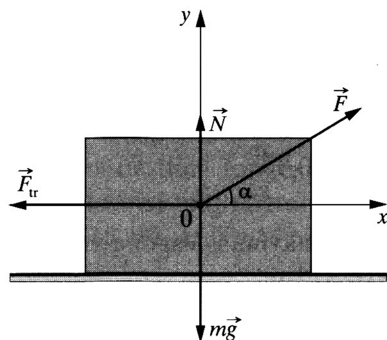
Sprendimas

Taikant antrąjį Niutono dėsnį, išplaukia, kad trinties jėga turi būti lygi automobilio masės ir įcentrinio pagreičio sandaugai: $F_{tr} = m\frac{v^2}{R}$ **(1)**. Automobiliui, važiuojančiam horizontaliu keliu, trinties jėga užrašoma taip: $F_{tr} = \mu mg$ **(2)**. Iš **1** ir **2** lygčių gauname, kad $v = \mu g R$ **(3)**. Iš **3** lygties akivaizdu, kad maksimalus greitis posūkyje nepriklauso nuo automobilio masės – tik nuo trinties koeficiento ir trajektorijos, kuria daromas posūkis, spindulio. Įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame v_1 ir v_2: pirmuoju atveju gauname $v_1 = 16{,}6$ m/s, antruoju – $v_2 = 8{,}9$ m/s.

Atsakymas. Neslysdamas automobilis sausu asfaltu gali judėti didžiausiu 16,6 m/s greičiu, o esant plikledžiui, – 8,9 m/s greičiu.

3.6 pavyzdys

Kūnas, kurio masė 45 kg, tempiamas 294 N jėga, sudarančia su horizontu 30° kampą. Trinties koeficientas 0,1. Apskaičiuokite kūno judėjimo pagreitį.



3.4 pav.

m = 45 kg
F = 294 N
α = 30°
μ = 0,1

a – ?

Sprendimas

Iš 3.4 paveikslo matome, kad pagal antrąjį Niutono dėsnį $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{F}_{tr}$. Pastarąją lygtį užrašome projekcijomis x ašyje: $ma = F \cos \alpha - F_{tr}$, o projekcijomis y ašyje: $0 = N + F \sin \alpha - mg$.

Be to, $F_{tr} = \mu N$. Iš šių trijų lygčių (atlikę matematinius pertvarkius) išreiškiame kūno judėjimo pagreitį: $a = \dfrac{F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha)}{m}$. Į šią lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame a:

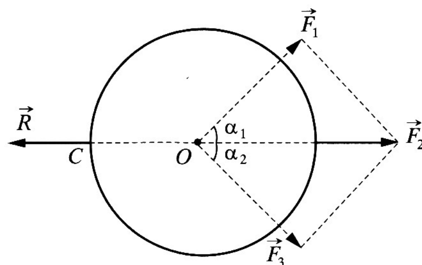
$$a = \frac{294\ \text{N} \cdot \cos 30^\circ - 0{,}1 \cdot \left(45\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} - 294\ \text{N} \cdot \sin 30^\circ\right)}{45\ \text{kg}} \approx 5{,}9\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Pastaba: atkreipkite dėmesį į tai, kad tamprumo jėga $N = mg - F \sin \alpha$ yra mažesnė už kūno sunkio jėgą, nes kampu veikianti jėga šiek tiek pakelia kūną nuo horizontaliosios plokštumos.

Atsakymas. Kūno judėjimo pagreitis apytiksliai lygus 5,9 m/s^2.

3.7* pavyzdys

Jėgos $F_1 = F_3 = 50$ N ir $F_2 = 100$ N veikia diską jo plokštumoje. Kampas tarp gretimų jėgų $\alpha = 30°$. Apskaičiuokite atsvarinės jėgos modulį ir nustatykite jos veikimo tašką.



3.5 pav.

α = 30°
$F_1 = F_3$ = 50 N
F_2 = 100 N

R – ?

Sprendimas

Atsvarinės jėgos modulis lygus atstojamosios jėgos moduliui ir yra nukreiptas jai priešinga kryptimi. Iš 3.5 paveikslo matome, kad atstojamoji jėga $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ yra nukreipta centrinės jėgos $\vec{F}_2$ kryptimi, nes $\vec{F}_1 = \vec{F}_3$ ir $\alpha_1 = \alpha_2$. Jos modulis lygus $F = F_3 + F_2 = 2F_1 \cos \alpha + F_2$.

Atsvarinė jėga $\vec{R} = -\vec{F}$ yra nukreipta jėgai $\vec{F}$ (vadinasi, ir $\vec{F}_2$) priešinga kryptimi. Šios jėgos modulis užrašomas taip: $R = F = 2F_1 \cos \alpha + F_2$. Į pastarąją lygtį įrašę žinomas dydžių vertes, atliekame skaičiavimus:
$R = 2 \cdot 50 \text{ N} \cdot \cos 30° + 100 \text{ N} = 187 \text{ N}$. Ji veikia bet kurį tiesės *CO* tašką (tarkime, kad diskas absoliučiai kietas, t. y. nesideformuoja).

Atsakymas. Diską veikianti atsvarinė jėga lygi 187 N.

3.8* pavyzdys

Dirbtinis Žemės palydovas skrieja 1700 km aukštyje. Apskaičiuokite jo linijinį greitį ir apsisukimo periodą. Žemės masė $5{,}98 \cdot 10^{21}$ t, o spindulys apytiksliai lygus 6400 km.

$h = 1700 \text{ km} = 1{,}7 \cdot 10^6 \text{ m}$ $M = 5{,}98 \cdot 10^{21} \text{ t} = 5{,}98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ $R_Ž = 6400 \text{ km} = 6{,}4 \cdot 10^5 \text{ m}$	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$
$v - ?$ $T - ?$	

Sprendimas

Orbita judantį palydovą veikia tik Žemės traukos jėga: $F = G\dfrac{mM}{(R_Ž + h)^2}$; čia m – palydovo masė, M – Žemės masė, $R_Ž$ – jos spindulys, h – aukštis nuo Žemės paviršiaus. Ši jėga suteikia palydovui įcentrinį pagreitį $a_{ic} = \dfrac{v^2}{R_Ž + h}$. Taikome antrąjį Niutono dėsnį: $m\dfrac{v^2}{R_Ž + h} = G\dfrac{mM}{(R_Ž + h)^2}$.

Atlikę šios lygties matematinį pertvarkį, randame palydovo linijinį greitį v:
$v = \sqrt{\dfrac{GM}{R_Ž + h}}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname:

$$v = \sqrt{6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2} \cdot \frac{5{,}98 \cdot 10^{24} \text{kg}}{(6{,}4 + 1{,}7) \cdot 10^6 \text{m}}} = 7{,}01 \cdot 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 7{,}01 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Palydovo apsisukimo aplink Žemę periodas užrašomas lygtimi $T = \frac{2\pi(R_{\check{Z}} + h)}{v}$.

Įrašome dydžių skaitines vertes:

$$T = \frac{2 \cdot 3{,}14(6{,}4 + 1{,}7) \cdot 10^6\,\text{m}}{7{,}01 \cdot 10^3\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 7{,}24 \cdot 10^3\,\text{s} \approx 120\,\text{min}\,40\,\text{s}.$$

Atsakymas. Palydovo linijinis greitis 7,01 km/s, o apsisukimo periodas apytiksliai lygus 120 min 40 s.

3.9* pavyzdys

Atskridę prie nežinomos planetos, kosmonautai nustatė 11 km/s horizontalų laivo greitį, ir tada laivas pradėjo skrieti apskrita orbita, kurios spindulys 9100 km. Koks yra laisvojo kritimo pagreitis prie tos planetos paviršiaus, jeigu planetos spindulys lygus 8900 km?

v = 11 km/s = $1{,}1 \cdot 10^4$ m
r = 9100 km = $9{,}1 \cdot 10^6$ m
R = 8900 km = $8{,}9 \cdot 10^6$ m

g_0 – ?

Sprendimas

Kosminį laivą veikia tik planetos traukos jėga, kurios kryptis – planetos centro link, o modulis apibūdinamas lygtimi $F = G\frac{Mm}{r^2}$ **(1)**; čia M – planetos masė, m – kosminio laivo masė, r – atstumas nuo planetos centro iki laivo (orbitos spindulys). Šią lygtį pertvarkome daugindami jos skaitiklį ir vardiklį iš R^2: $F = G\frac{Mm}{r^2} = G\frac{M}{R^2} \cdot m\frac{R^2}{r^2} = g_0 m\frac{R^2}{r^2}$ **(2)**. Iš šios lygties matyti, kad laisvojo kritimo pagreitis prie planetos paviršiaus apibūdinamas analogiška formule kaip ir Žemėje: $g_0 = G\frac{M}{R^2}$.

Kosminiam laivui užrašome skaliarinę antrojo Niutono dėsnio lygtį, suprojektavę vektorius į y ašį, nukreiptą planetos centro link: $F = ma_y$ **(3)**; čia $a_y = a_{\text{įc}} = \frac{v^2}{R}$ **(4)**.

Įrašome **2** ir **4** išraiškas į **3** lygtį: $g_0 m\frac{R^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$. Iš pastarosios lygties: $g_0 = \frac{v^2 r}{R^2}$.

Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname: $g_0 = \frac{(1{,}1 \cdot 10^4\,\text{m/s})^2\, 9{,}1 \cdot 10^6\,\text{m}}{(8{,}9 \cdot 10^6\,\text{m})^2} = 14\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Atsakymas. Prie nežinomos planetos paviršiaus laisvojo kritimo pagreitis lygus 14 m/s^2.

Pirmasis Niutono dėsnis. Inercinės atskaitos sistemos. Atstojamosios jėgos radimas

3.1. Kodėl bėgantis žmogus, už ko nors užkliuvęs, krinta bėgimo kryptimi, o paslydęs – priešinga kryptimi? Atsakymą pagrįskite.

3.2. Kodėl traukinio greitis horizontaliame kelio ruože nedidėja be galo, nors visą laiką veikia pastovi traukos jėga? Atsakymą pagrįskite.

3.3. Žinoma, kad vagonui greitėjant, jį stabdant ir posūkiuose kūnai, esantys vagone, nukrypsta nuo pradinės padėties, pradeda judėti ar net kristi, neveikiami šioje aplinkoje esančių kitų kūnų. Ar šiuo atveju nepažeidžiamas pirmasis Niutono dėsnis?

3.4. Kodėl vairuotojas negali akimirksniu sustabdyti judančio automobilio?

3.5. Kas labiau inertiškesnis: šautuvas ar kulka? Kodėl?

3.6. Du sąveikaujantys kūnai įgijo pagreičius, lygius 0,01 m/s^2 ir 1 m/s^2. Raskite kūnų masių santykį.

3.7. Kokia kryptimi ir kodėl pasislenka keleiviai, kai autobusas staigiai sustoja ir kai pasuka į dešinę?

3.8. Kodėl rąstai iš plukdomų sielių dažnai išmetami ant kranto upės vingiuose? Atsakymą pagrįskite.

3.9. 1 kg masės rutulys susiduria su nežinomos masės rutuliu. Jų įgyti pagreičiai atitinkamai lygūs 0,2 m/s^2 ir 0,4 m/s^2. Apskaičiuokite antrojo rutulio masę.

3.10. Kaip juda traukinys, jeigu obuolys, nukritęs nuo vagone esančio stalelio, atskaitos sistemoje „vagonas“: a) juda vertikaliai; b) krisdamas nukrypsta į priekį; c) nukrypsta atgal; d) nukrypsta į šoną?

3.11. Du 400 g ir 600 g masės kūnai judėjo vienas prieš kitą ir po susidūrimo sustojo. Koks antrojo kūno greitis, jeigu pirmasis judėjo 3 m/s greičiu?

3.12. Futbolininkas spiria kamuolį, kuris skrieja vertikaliai aukštyn. Apibūdinkite ir palyginkite jėgas, veikiančias kamuolį: a) spyrio į kamuolį momentu; b) kamuoliui skriejant į viršų; c) kamuoliui skriejant žemyn; d) atsitrenkimo į žemę metu.

3.13. Apibūdinkite ir palyginkite jėgas, veikiančias rutuliuką, kai: a) jis guli ant horizontalaus stalo; b) rutuliukas pastumiamas ranka; c) rutuliukas rieda stalu; d) rutuliukas krenta nuo stalo. Atsakymus iliustruokite brėžiniais.

3.14. Dvi jėgos, kurių didumas 10 N ir 14 N, veikia tą patį kūno tašką. Ar gali jų atstojamoji būti lygi 2 N; 4 N; 10 N; 24 N; 30 N?

3.15. Trys vienodo didumo jėgos veikia tą patį kūno tašką. Ar gali jų atstojamoji būti lygi nuliui?

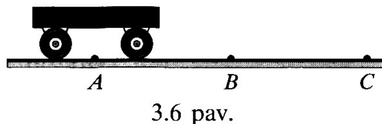
3.16. Apskaičiuokite atstojamąją jėgą, jei kūną veikia trys 200 N didumo jėgos. Kampai tarp pirmosios ir antrosios jėgos bei antrosios ir trečiosios jėgos lygūs 60°.

3.17.* Kas įvyktų, jeigu: a) Žemė staiga nustotų suktis apie savo ašį; b) Žemė nustotų judėti orbita apie Saulę?

3.18.* Automobiliuose naudojami stabdžiai, kurie stabdo arba visus ratus, arba tik užpakalinius. Kodėl nestabdomi vien tik priekiniai ratai?

3.19.* Ar inercija galima paaiškinti šiuos reiškinius: 1) dviratininkas leidžiasi nuo kalnelio nemindamas dviračio pedalų; 2) kosminiai laivai virš atmosferos ribų gali judėti išjungtu varikliu.

3.20.* Kelio atkarpoje *AB* (3.6 pav.) automobilis judėjo su įjungtu varikliu, o atkarpoje *BC* – su išjungtu varikliu. Kurioje iš šių atkarpų judėjimas vyko iš inercijos?



3.6 pav.

3.21.* Du ant stalo padėti kamuoliai suspaudžiami spyruokle vienas su kitu, po to atleidžiami. Vienas šių kamuolių atšoko 35 cm atstumu, o antras per tą patį laiką – 50 cm atstumu. Koks yra šių kamuolių masių santykis?

3.22.* Prie vagono, riedančio tolygiai ir tiesiai 20 km/h greičiu, lubų siūlu pritvirtintas rutulys. Kitame vagone, judančiame tolygiai ir tiesiai 60 km/h greičiu, taip pat pakabintas rutulys. Ar abiejų rutulių padėtys vienodos? Ar pasikeis rutulių padėtis, jei vagonai pradės judėti greitėjančiai?

3.23.* Ar automobilis, judantis horizontaliu keliu, gali važiuoti tolygiai, kai vairuotojas išjungia variklį? Atsakymą pagrįskite.

3.24.* Palyginkite dviejų vienodų spindulių rutuliukų sąveikos metu įgytus pagreičius, jeigu vienas jų pagamintas iš geležies, o kitas – iš švino.

3.25.* Apibūdinkite ir palyginkite jėgas, veikiančias automobilį, kai jis: a) stovi horizontaliojoje kelio dalyje; b) pajuda iš vietos; c) juda tolygiai ir tiesiai horizontaliu keliu; d) judėdamas tolygiai pravažiuoja iškilo tilto vidurį; e) judėdamas tolygiai daro posūkį; f) tiesioje kelio atkarpoje įjungia stabdžius.

3.26.* 90 kg masės parašiutininką šuolio pradžioje veikia oro pasipriešinimo jėga, kurios projekcijos x ir y ašyse lygios 300 N ir 500 N. (y ašis nukreipta vertikaliai aukštyn.) Kokia jėgų atstojamoji veikia žmogų šuolio metu?

3.27.* Reaktyvųjį lėktuvą vertikalia kryptimi veikia 550 kN sunkio jėga ir 555 kN keliamoji jėga, o horizontalia kryptimi – 162 kN traukos jėga ir 150 kN oro pasipriešinimo jėga. Nustatykite atstojamosios jėgos didumą ir kryptį.

3.28.* Siūlas, ant kurio kabo 1,6 kg masės kūnas, atlenkiamas horizontalia kryptimi 12 N jėgos. Apskaičiuokite siūlo įtempimo jėgą.

Antrasis ir trečiasis Niutono dėsniai

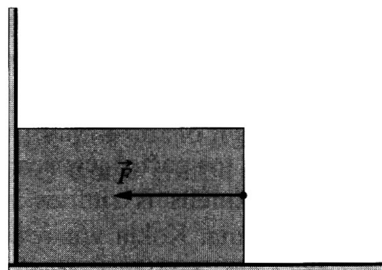
3.29. Ar teisingi šie teiginiai: a) jeigu kūno neveikia jėga, tai kūnas nejuda; b) jeigu kūną nustoja veikti jėga, tai šis kūnas sustoja; c) kūnas juda į tą pusę, kuria kryptimi jį veikia jėga; d) jeigu kūną veikia jėga, tai to kūno greitis kinta?

3.30. Dėžę veikia jėga $\vec{F}$, nukreipta į sieną (3.7 pav). Kodėl dėžė neįgijo pagreičio?

3.31. 5 g masės svarelį veikia 2 mN jėga. Apskaičiuokite svarelio įgytą pagreitį.

3.32. Kokiu pagreičiu juda 3 kg masės kūnas, jei jį veikia 0,1 N jėga? Koks yra kūno greitis 6-tos sekundės pabaigoje?

3.33. Kokį pagreitį įsibėgėjimo metu įgijo 60 t masės reaktyvusis lėktuvas, jeigu jo variklių traukos jėga lygi 90 kN?



3.7 pav.

3.34. Lengvojo automobilio masė 2 t, o krovininio – 8 t. Palyginkite šių transporto priemonių judėjimo pagreičius, kai krovininio automobilio traukos jėga dvigubai didesnė už legvojo automobilio.

3.35. Užpildykite lentelę; čia *a* – pagreitis, kurį įgijo *m* masės kūnas, veikiamas jėgos *F*.

a	?	?	0,4 m/s^2	2 km/s^2	0,1 m/s^2	5 m/s^2
m	8 kg	3 g	200 kg	10 g	?	?
F	2 N	6 mN	?	?	20 N	1 kN

3.36. Kūnas, veikiamas 50 mN jėgos, įgijo 0,20 m/s^2 pagreitį. Apskaičiuokite šio kūno masę. Raskite poslinkį, kuriuo pasisuko nejudantis kūnas, pradėjus veikti šiai jėgai.

3.37. Lentelėje nurodyti rezultatai gauti nagrinėjant pastovios masės kūno pagreičio priklausomybę nuo kūną veikiančios jėgos didumo. Nubraižykite grafiką, padarykite išvadą apie nagrinėjamąją priklausomybę.

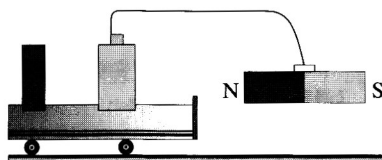
F (N)	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
a(m/s^2)	0	0,16	0,3	0,44	0,6	0,75	0,90

3.38. Lentelėje nurodyti rezultatai gauti nagrinėjant kūno pagreičio priklausomybę nuo jo masės, kai jėga, veikianti kūną, yra pastovi. Nubraižykite grafiką, padarykite išvadą apie nagrinėjamąją priklausomybę.

m (kg)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
a(m/s^2)	1,8	0,90	0,60	0,45	0,36	0,30

3.39. Garvežys pastūmė horizontaliame kelio ruože stovintį vagoną, kurio masė 30 t. Vagonas įgijo 0,5 m/s greitį. Raskite smūgio jėgą, jei smūgis truko 1 s.

3.40. Dviratininkas, veikdamas dviratį 5 N jėga, iki pilno įsibėgėjimo nuvažiavo 45 m. Apskaičiuokite dviratininko greitį šio ruožo pabaigoje, kai kartu su dviračiu jo masė lygi 90 kg.



3.8 pav.

3.41. Ar galima išjudinti plieninį vežimėlį magnetu, pakabintu taip, kaip parodyta 3.8 paveiksle?

3.42. Tam tikros jėgos veikiamas, vežimėlis nuvažiavo 40 cm atstumą. Kai ant jo padėjo 200 g masės kūną, tos pačios jėgos veikiamas, per tą patį laiką vežimėlis iš rimties būsenos nuvažiavo 20 cm atstumą. Kokia yra vežimėlio masė?

3.43. Kaip, remiantis trečiuoju Niutono dėsniu, paaiškinti automobilio posūkį horizontaliame kelyje?

3.44. Traukos jėga, veikianti automobilį, lygi 1 kN, o pasipriešinimo judėjimui jėga – 500 N. Kaip tai suderinti su veiksmo ir atoveikio jėgų lygybės dėsniu?

3.45. Kodėl sunku įkalti vinį į svyruojančią tvorą? Atsakymą pagrįskite.

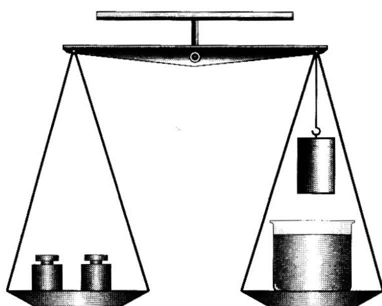
3.46. Kodėl paukštis skrisdamas plasnoja sparnais?

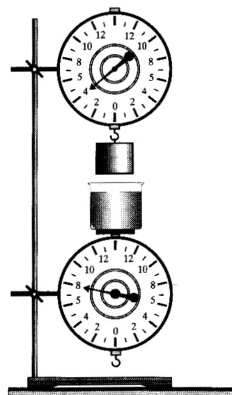
3.47. Nurodykite veiksmo ir atoveikio jėgas: a) tramvajaus vagonas stovi ant išgaubto tilto vidurio; b) krovinys kabo ant lyno; c) valtis plaukia vandeniu. Atsakymus iliustruokite brėžiniu.

3.48. Berniukas, stovėdamas 200 kg masės valtyje, 125 N jėga tempia lyną, kuris pritvirtintas krante. Kokiu pagreičiu juda valtis, jei berniuko masė 50 kg?

3.49. Kodėl valtis nejuda iš vietos, kai joje esantis žmogus suduoda į jos šoną, ir pradeda judėti, kai žmogus išlipa iš valties ir tokia pat jėga ją stumteli?

3.50. Ar sutriktų svarstyklių pusiausvyra (3.9 pav.): a) jei siūlą pailgintume tiek, kad svarstis panirtų į vandenį, bet neliestų dugno; b) jei siūlą nukirptume ir svarstis nusileistų ant dugno?


3.9 pav.


3.10 pav.

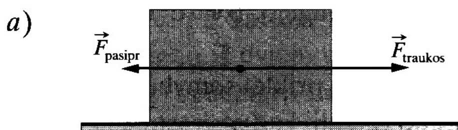
3.51. Ką rodys dinamometrai (3.10 pav.), kai viršutinį dinamometrą nuleisime taip, kad 0,2 dm^3 tūrio krovinys visiškai pasiners į vandenį, bet nelies indo dugno?

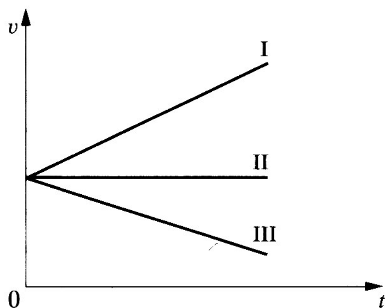
3.52.* Pagal antrąjį Niutono dėsnį $F = ma$, bet $m = \rho V$. Ar, remiantis šiomis lygtimis, galima teigti, jog: a) jėga F yra tiesiogiai proporcinga kūno tankiui ρ; b) jėga F yra tiesiogiai proporcinga kūno tūriui V? Atsakymus pagrįskite.

3.53.* Kokiu pagreičiu krinta kūnai Marse, jeigu jo paviršiuje esančių kūnų traukos jėga yra 2,8 karto mažesnė už Žemės paviršiuje esančių tokių pat kūnų traukos jėgą?

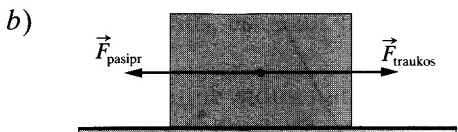
3.54.* 3.11 paveiksle pavaizduoti įvairūs traukos ir pasipriešinimo jėgų santykiai. Koks yra kūno judėjimas kiekvienu pavaizduotu atveju? Kokie greičio ir pagreičio grafikai atitinka *a, b, c* atvejus?

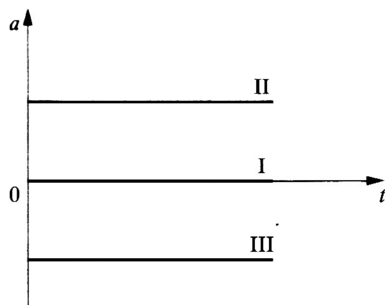
a)



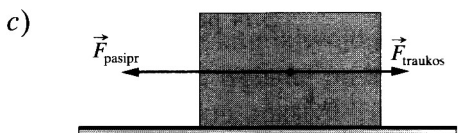


b)



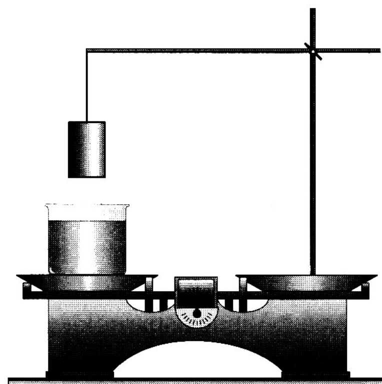


c)



3.11 pav.

3.55.* Ant vienos svarstyklių lėkštelės stovi indas su vandeniu, ant kitos – stovas, prie kurio prikabintas 54 g masės aliumininis kūnas (svarstis). Tuo metu svarstyklės yra pusiausviros (3.12 pav.). Kai, pailginus siūlą, svarstis panardinamas į vandenį, svarstyklių pusiausvyra sutrinka. Kokį svarstį reikia padėti ant dešiniosios svarstyklių lėkštelės, kad jos vėl būtų pusiausviros?



3.12 pav.

3.56.* Kodėl lokomotyvai gaminami ne iš tvirto, bet lengvo lydinio – duraliuminio?

3.57.* Du berniukai traukia už dinamometro galų į priešingas puses 100 N jėga kiekvienas. Ką rodo dinamometras? Atsakymą pagrįskite.

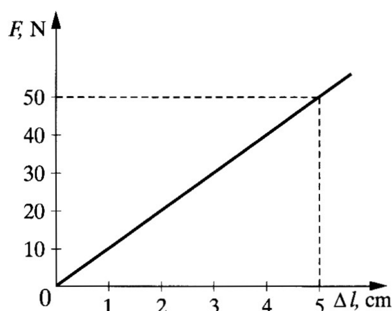
Tamprumo jėga

3.58. Nukritęs ant grindų, kamuolys atšoko į viršų. Kokios jėgos veikė kamuolį jam krintant ir kokios – atsitrenkimo į grindis momentu? Atsakymą iliustruokite brėžiniais.

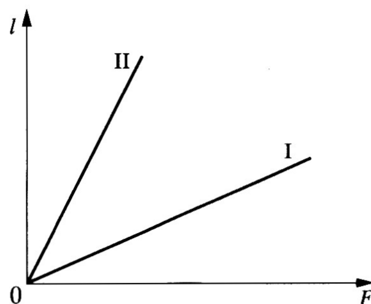
3.59. Svarstis guli ant stalo. Brėžiniu pavaizduokite svarstį veikiančias jėgas. Ar šios jėgos viena kitą atsveria? Kaip jos vadinamos?

3.60. Prie guminio dirželio prikabinus svarstį, jis pailgėjo. Išvardykite veikiančias jėgas. Kokius kūnus veikia šios jėgos?

3.61. 3.13 paveiksle pavaizduotas tamprumo jėgos priklausomybės grafikas nuo guminio dirželio pailgėjimo. Kiek reikia ištempti dirželį, kad atsirastų 25 N tamprumo jėga? Nustatykite tamprumo jėgos didumą esant 1,5 cm dirželio pailgėjimui.



3.13 pav.

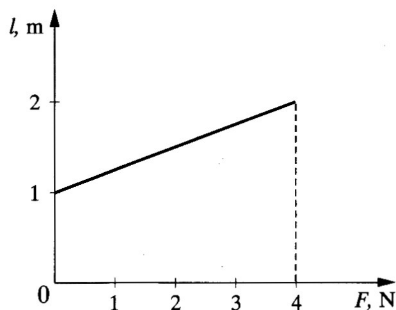


3.14 pav.

3.62. Raskite standumą spyruoklės, kuri, veikiama 2 N jėgos, pailgėjo 4 cm.

3.63. 3.14 paveiksle pavaizduoti vienodo ilgio plieninės (I) ir varinės (II) vielos pailgėjimo priklausomybės nuo tempimo jėgos grafikai. Palyginkite vielų tamprumą.

3.64. 3.15 paveiksle pavaizduotas guminės pynelės ilgio kitimo priklausomybės nuo tempimo jėgos grafikas. Raskite pynelės standumą.



3.15 pav.

3.65. Tam tikro vielos gabalo standumas lygus k. Koks yra pusės šio gabalo standumas? Atsakymą pagrįskite.

3.66.* Vienos spyruoklės standumas k_1, o kitos – k_2. Koks bus spyruoklės, sudarytos iš nuosekliai sujungtų anksčiau minėtų spyruoklių, standumas?

Visuotinės traukos jėga. Kūno svoris. Nesvarumas. Perkrovos. Dirbtinių Žemės palydovų ir planetų judėjimas

3.67. Sakykime, kad pavyko iškasti tunelį išilgai viso Žemės skersmens ir į tą tunelį krinta akmuo. Kur šio akmens pagreitis būtų didžiausias ir kur – mažiausias? Kodėl? Pasipriešinimo nepaisykite.

3.68. Kiek kartų reikia pakeisti atstumą tarp kūnų, kad jų tarpusavio traukos jėga: a) sumažėtų 3 kartus? b) padidėtų 9 kartus?

3.69. Kiekvieno iš dviejų dirbtinių Žemės palydovų masė lygi 4,2 t. Kokio didumo traukos jėga veiks tarp šių palydovų, kai jie priartės vienas prie kito per 100 m?

3.70. Dviejų vienodų rutulių tarpusavio traukos jėga lygi 1 N. Atstumas tarp jų centrų 1 m. Kokia rutulių masė?

3.71. Marso spindulys apytiksliai lygus 0,53 Žemės spindulio, o jo masė sudaro maždaug 0,11 Žemės masės. Palyginkite jėgas, kuriomis šios planetos traukia vienodos masės kūnus, esančius jų paviršiuje. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį Marse.

3.72. Automatinė stotis nutolo nuo Žemės centro $1{,}5 \cdot 10^5$ km. Kiek kartų pasikeitė stoties traukos prie Žemės paviršiaus jėga?

3.73. Kokiu atstumu nuo Žemės paviršiaus kosminis laivas bus Žemės traukiamas 122 kartus mažesne jėga negu Žemės paviršiuje?

3.74. Jupiterio spindulys lygus 11,2 Žemės spindulio, o masė – 318 Žemės masių. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį Jupiteryje.

3.75. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį: a) aukštyje, lygiame Žemės spinduliui; b) aukštyje, lygiame pusei Žemės spindulio; c) aukštyje, lygiame n Žemės spindulių; d) 500 km aukštyje virš Žemės paviršiaus.

3.76. Kokio didumo sunkio jėga veikia 1,4 t masės kūną 40 km aukštyje virš Žemės ašigalio? $g = 9{,}83$ m/s^2, $R_Ž = 6370$ m.

3.77. Vidutinis Veneros tankis 5200 kg/m^3, planetos spindulys – 6100 km. Raskite laisvojo kritimo pagreitį Veneros paviršiuje.

3.78. Apskaičiuokite Merkurijaus planetos masę, jei žinoma, kad šios planetos vidutinis spindulys lygus 2420 km, o laisvojo kritimo pagreitis 3,72 m/s^2.

3.79. Kokia jėga Žemę traukia Marsas, kai abi planetos priartėja viena prie kitos per 50 milijonų kilometrų?

3.80. Vidutinis atstumas tarp Žemės ir Mėnulio centrų lygus 60 Žemės spindulių, o Mėnulio masė 81 kartą mažesnė už Žemės masę. Kuriame jų centrus jungiančios tiesės taške kūnas bus traukiamas prie Žemės ir Mėnulio vienoda jėga?

3.81. Kosminė raketa, startuodama nuo Žemės paviršiaus, skrieja vertikaliai 20 m/s^2 pagreičiu. Raskite kabinoje esančio 80 kg masės lakūno kosmonauto svorį. Kokia perkrova veikia lakūną?

3.82. Kokiu pagreičiu a_1 reikia kelti svarstį, kad jo svoris padidėtų dvigubai? Kokiu pagreičiu a_2 jį reikia leisti žemyn, kad svoris sumažėtų perpus?

3.83. Kosminis laivas minkštai nusileidžia Mėnulyje, judėdamas tolygiai lėtėjančiai vertikalia kryptimi (Mėnulio atžvilgiu) pastoviu 8,38 m/s^2 pagreičiu. Kiek sveria 70 kg kosmonautas, esantis šiame laive?

3.84. Kokiu grečiu 600 km aukštyje virš Žemės paviršiaus apskritimine orbita turi skrieti dirbtinis Žemės palydovas? Nustatykite jo skriejimo periodą.

3.85. Prieš išsiskleidžiant parašiutui, parašiutininko greitis per 1 s pakinta nuo 50 m/s iki 10 m/s. Kokia perkrova veikia parašiutininką?

3.86. Ar patiria nesvarumo ir perkrovos būsenas bėgantis žmogus? Atsakymą pagrįskite.

3.87. Kodėl Mėnulyje mestas kūnas, kol lekia, yra visiškai nesvarus, o Žemėje tokį kūną galima laikyti nesvariu tik sąlyginai?

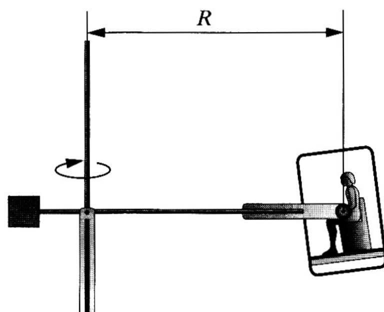
3.88. Kokiu greičiu automobilis turi pervažiuoti iškilo tilto viduriu, kad keleivis akimirką atsidurtų nesvarumo būsenoje? Žinoma, kad tilto kreivumo spindulys lygus 40 m.

3.89. Marso spindulys lygus 3380 km, o kūnų laisvojo kritimo pagreitis jame 3,86 m/s^2. Apskaičiuokite pirmąjį kosminį greitį prie Marso paviršiaus.

3.90. Veneros masė – $4{,}9 \cdot 10^{24}$ kg, spindulys – 6100 km. Apskaičiuokite pirmąjį kosminį greitį prie jos paviršiaus.

3.91. Žinodami Žemės spindulį ir laisvojo kritimo pagreitį jos paviršiuje, apskaičiuokite Žemės masę M ir vidutinį jos tankį.

3.92. Kokią perkrovą jaučia 80 kg masės kosmonautas, sukdamasis centrifūgoje apie vertikalią ašį (3.16 pav.)? Centrifūgos skersmuo 12 m, kampinis greitis 4,04 rad/s.



3.16 pav.

3.93. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį 500 km aukštyje virš Žemės paviršiaus.

3.94. Dirbtinis Žemės palydovas skrieja aplink Žemę apskritimine 12 000 km spindulio orbita. Nustatykite palydovo greitį.

3.95.* Žemės ir Plutono masė beveik vienoda, o jų atstumų nuo Saulės santykis lygus 1 : 40. Apskaičiuokite jėgų, kuriomis Saulė traukia šias planetas, santykį.

3.96.* Žemėje žmogus pakelia 50 kg masės krovinį. Kokios masės krovinį jis galėtų pakelti Mėnulyje? $\frac{R_Ž}{R_M} = 3{,}7$; $\frac{R_M}{R_Ž} = 1{,}81$. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį Mėnulyje.

3.97.* Mėnulis skrieja aplink Žemę apytiksliai 1 km/s greičiu. Vidutinis atstumas tarp Žemės ir Mėnulio lygus $3{,}8 \cdot 10^5$ km. Apskaičiuokite Žemės masę.

3.98.* Dirbtinis palydovas skrieja aplink Mėnulį 200 km aukštyje virš jo paviršiaus. Apskaičiuokite palydovo skriejimo periodą ir orbitinį greitį. $M_M = 7{,}3 \cdot 10^{22}$ kg; $R_M = 1{,}7 \cdot 10^6$ m.

3.99.* Kosminis laivas skrieja aplink Žemę orbita 250 km aukštyje. Raskite jo linijinį greitį ir skriejimo aplink Žemę periodą.

3.100.* Laikydami, kad pirmasis DŽP skriejo apskritimine orbita, kurios spindulys 6600 km, apskaičiuokite palydovo sūkių skaičių per parą.

3.101.* Supermilžino Antareso (α Skorpiono) masė yra 50 kartų didesnė už Saulės masę, o tos žvaigždės skersmuo – didesnis už Saulės skersmenį 328 kartus. Baltosios nykštukės 40 Eridano A masė yra lygi 0,31 Saulės masės, o skersmuo – 0,016 Saulės skersmens. Apskaičiuokite laisvojo kritimo pagreitį šiose žvaigždėse.

3.102.* Buitinės skalbimo mašinos centrifūgos būgno spindulys – 10 cm. Jis sukasi 2780 aps/min dažniu. Nustatykite į šį būgną įdėtų 1 kg masės skalbinių svorį ir sukimosi kryptį.

3.103.* Kiek kartų palydovo, skriejančio 21600 km aukštyje virš Žemės paviršiaus, apsisukimo periodas didesnis už palydovo, skriejančio 600 km aukštyje apsisukimo periodą?

3.104.* Apskaičiuokite planetos, kurios tankis yra toks pat kaip ir Žemės, bet spindulys perpus mažesnis už Žemės spindulį, pirmąjį kosminį greitį.

3.105.* Jupiterio apskriejimo aplink Saulę periodas yra 12 kartų didesnis negu Žemės. Kiek kartų daugiau Jupiteris nutolęs nuo Saulės negu Žemė?

Trinties jėga

3.106. Medinį tašelį iš pradžių padėkite ant stalo vienu šonu, po to – kitu, tada – galu ir kaskart stumkite jį stalo paviršiumi. Palyginkite trinties jėgas. (Naudokitės dinamometru.)

3.107. Kodėl vandenyje plūduriuojančią didelę ledo lytį pajudinti lengva, bet sunku iš karto suteikti jai didelį greitį?

3.108. Kodėl palyginti lengva ištraukti vinį iš sausos lentos ir sunku – iš išbrinkusios? Atrodo, vanduo, atstojantis tepalą, turėtų sumažinti trintį.

3.109. Kurioms jėgoms nugalėti naudojama lėktuvo variklių galia?

3.110. Kodėl vėjas dažniau laužo medžius vasarą negu žiemą?

3.111. Kodėl pakrautas laivas plaukia lėčiau negu tuščias?

3.112. Kodėl kosminiam laivui skrendant per Žemės atmosferą, oro sluoksnis prie pat jo korpuso smarkiai įkaista?

3.113.* Lenktyniaudamas arklys pervežė 23 t masės krovinį (trinties koeficientas 0,012). Kokia buvo tolygiai bėgančio arklio traukos jėga?

3.114.* Elektros variklio anglinis šepetėlis spaudžiamas prie kolektoriaus 6 N jėga. Kokio didumo trinties jėga veikia tarp šepetėlio ir kolektoriaus, kai $\mu = 0{,}2$?

3.115.* Krovinius poliarininkai perveža šunų kinkiniais. Šie gali traukti roges sniegu didžiausia 500 N jėga. Kokios masės roges su kroviniu pajėgtų tolygiai traukti šunų kinkinys, kai trinties koeficientas lygus 0,12?

3.116.* Kokiu mažiausiu atstumu nuo sankryžos reikia pradėti stabdyti 70 km/h greičiu važiuojantį automobilį, užsidegus raudonam šviesoforo signalui, kai trinties koeficientas lygus 0,45?

3.117.* $3 \cdot 10^6$ kg masės traukinys pajuda iš vietos ir važiuoja horizontaliais bėgiais, veikiamas pastovios 420 kN traukos jėgos. Pasipriešinimo koeficientas lygus 0,0045. Apskaičiuokite traukinio pagreitį ir greitį, įgytą per 6 s.

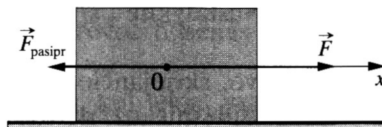
4. Niutono dėsnių taikymas. Sukamojo judėjimo dinamika*

4.1 pavyzdys

Garvežys horizontaliame kelyje išvysto $25 \cdot 10^4$ N traukos jėgą. Apskaičiuokite 10^3 t masės traukinį veikiančią pasipriešinimo jėgą, jeigu 300 m kelyje jo greitis padidėjo nuo 36 km/h iki 54 km/h.

$F = 25 \cdot 10^4$ N
$m = 10^3$ t $= 10^6$ kg
$s = 300$ m
$v = 54 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$v_0 = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

F_{pasipr} – ?



4.1 pav.

Sprendimas

Traukinį veikiančią pasipriešinimo jėgą rasime, taikydami antrąjį Niutono dėsnį (4.1 pav.): $\vec{F} + \vec{F}_{\text{pasipr}} = m\vec{a}$ (**1**). Šios lygties išraiška x ašies atžvilgiu yra $F - F_{\text{pasipr}} = ma$. Iš čia $F_{\text{pasipr}} = F - ma$.

Pagreitį rasime iš formulės $v^2 - v_0^2 = 2as$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1**, gauname: $F_{\text{pasipr}} = F - \frac{m(v^2 - v_0^2)}{2s}$. Įrašę skaitines dydžių vertes, apskaičiuojame F_{pasipr}:

$$F_{\text{pasipr}} = 25 \cdot 10^4\,\text{N} - \frac{10^6\,\text{kg}\left(15^2\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} - 10^2\,\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)}{2 \cdot 300\,\text{m}} = 4{,}2 \cdot 10^4\,\text{N} = 42\,\text{kN}.$$

Atsakymas. Pasipriešinimo traukinio judėjimui jėga lygi 42 kN.

4.2 pavyzdys

Lengvasis automobilis, judėjęs 36 km/h greičiu, stabdomas sustojo po 2 s. Apskaičiuokite ratų trinties į važiuojamą kelio dangą koeficientą, stabdymo kelią ir stabdymo metu veikiančią jėgą, jei žinoma, jog automobilio masė lygi 1200 kg. Oro pasipriešinimo nepaisykite.

$v_0 = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$t = 2$ s
$m = 1200$ kg

μ – ? s – ? F – ?

Sprendimas

Trinties koeficientui rasti taikysime formulę $\mu = \frac{F}{P} = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}$ (**1**). Stabdymo metu automobilio judėjimas buvo tolygiai lėtėjantis, todėl pagreitį a nusako

formulė $v - v_0 = at$. Iš čia $a = -\frac{v_0}{t}$, nes galinis greitis v lygus nuliui. Pagreičio išraišką įrašę į **1** lygtį, gauname: $\mu = \frac{v_0}{gt}$. Įrašę skaitines vertes, apskaičiuojame μ:

$$\mu = \frac{10\frac{\text{m}}{\text{s}}}{9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 2\text{s}^2} \approx 0{,}5.$$

Randame sabdymo kelią: $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$; $s = v_0 t - \frac{v_0 t^2}{2t} = \frac{v_0 t^2}{2t} = \frac{v_0 t}{2}$;

$$s = \frac{10\frac{\text{m}}{\text{s}}\cdot 2\text{s}}{2} = 10\,\text{m}.$$

Apskaičiuojame stabdymo jėgą: $F = ma$; $F = -m\frac{v_0}{t} = -\frac{mv_0}{t}$;

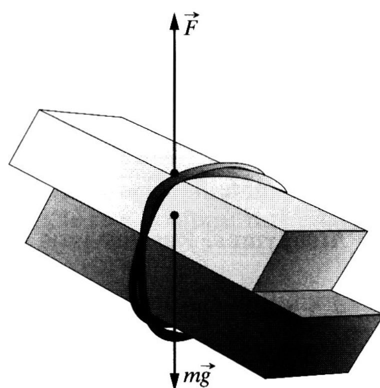
$$F = -\frac{1200\,\text{kg}\cdot 10\,\text{m/s}}{2\text{s}} = -6000\,\text{N} = -6\,\text{kN}.$$

Atsakymas. Trinties koeficientas lygus 0,5, automobilio stabdymo kelias – 10 m, o stabdančioji jėga – 6 kN.

4.3 pavyzdys

600 kg masės krovinys keliamas lynu. Raskite didžiausią lyno įtempimo jėgą, jei kėlimo pradžioje krovinys juda 0,2 m/s² pagreičiu.

m = 600 kg a = 0,2 m/s²	g = 9,8 m/s²
F – ?	



4.2 pav.

Sprendimas

Krovinį veikia sunkio jėga $m\vec{g}$ ir lyno įtempimo jėga $\vec{F}$ (4.2 pav.). Remdamiesi antruoju Niutono dėsniu, gauname: $m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}$ (**1**).

1 lygies projekcija į ašį, kurios kryptis sutampa su pagreičio $\vec{a}$ kryptimi, yra $ma = F - mg$ (**2**). Iš **2** lygties išreiškiame ir apskaičiuojame jėgą F: $F = m(a + g)$; F = 600 kg (0,2 m/s² + 9,8 m/s²) = 60 000 N = 6 kN.

Pastaba: praktikoje dėl lyno tamprumo krovinio pagreitis pradiniu momentu būna mažesnis, nes pilnutinė lyno apkrovos jėga pasiekia maksimumą tik praėjus laikui, būtinam lynui deformuotis.

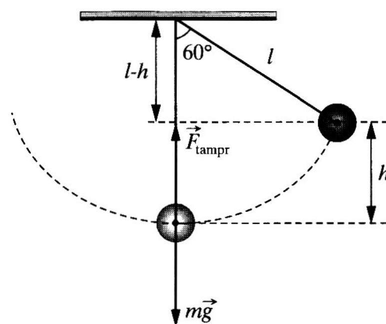
Atsakymas. Lyno įtempimo jėga lygi 6 kN.

4.4 pavyzdys

Ant netampraus siūlo pakabintas 2 kg masės svarstis. Nuo vertikalios padėties jis atlenkiamas 60° kampu (4.3 pav.). Apskaičiuokite siūlo įtempimo jėgą, svarsčiui pereinant pusiausvyros padėtį.

$m = 2$ kg
$\alpha = 60°$

F_{tampr} – ?



4.3 pav.

Sprendimas

Svarsčiui pereinant pusiausvyros padėtį, jį veikia dvi jėgos: sunkio jėga $m\vec{g}$ ir siūlo tamprumo jėga $\vec{F}_{\text{tampr}}$ (4.3 pav.). Šių jėgų atstojamoji lygi įcentrinei jėgai: $\vec{F}_{\text{įc}} = \vec{F}_{\text{tampr}} + m\vec{g}$, arba $F_{\text{tampr}} = F_{\text{įc}} + mg$ (**1**). Kadangi $F_{\text{įc}} = \frac{mv^2}{l}$, **1** lygtį perrašome taip: $F_{\text{tampr}} = \frac{mv^2}{l} + mg$ (**2**). Šioje lygtyje nežinome svarsčio judėjimo greičio, svarsčiui pereinant pusiausvyros padėtį. Taikome energijos tvermės dėsnį: $\frac{mv^2}{2} = mgh$. Iš čia $v^2 = 2gh$.

Kadangi $h = \frac{l}{2}$, tai $v^2 = \frac{2gl}{2} = gl$ (**3**). **3** lygtį įrašę į **2** ir matematiškai pertvarkę, gauname, kad $F_{\text{tampr}} = \frac{mgl}{l} + mg = mg + mg = 2mg$. Į šią lygtį įrašę dydžių skaitines vertes ir matematiškai pertvarkę, gauname F_{tampr}: $F_{\text{tampr}} = 2 \cdot 2\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \text{m/s}^2 = 39{,}2$ N.

Atsakymas. Pusiausvyros padėtyje siūlo įtempimo jėga lygi 39,2 N.

4.5 pavyzdys

Automobilis juda 54 km/h greičiu. Kokį mažiausio spindulio posūkį gali atlikti automobilis, kurio ratų slydimo trinties su kelio danga koeficientas lygus 0,5?

$v = 54\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$\mu = 0{,}5$

R – ?

Sprendimas

Įcentrinės jėgos, išlaikančios automobilį posūkyje, vaidmenį atlieka trinties jėga. Vadinasi, galima užrašyti tokią lygybę: $\frac{mv^2}{R} = \mu mg$. Iš šios lygties randame posūkio spindulį: $R = \frac{v^2}{\mu g}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname: $R = \frac{\left(15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0{,}5 \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 46\ \text{m}.$

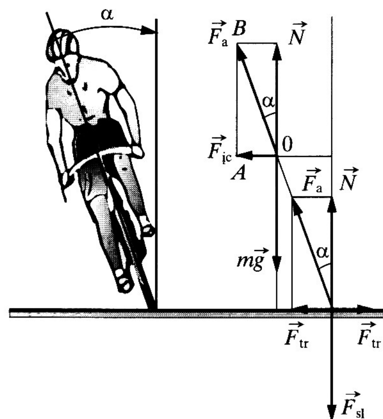
Atsakymas. Automobilis daro posūkį apskritimo, kurio spindulys 46 m, lanko dalimi.

4.6 pavyzdys*

Kokiu didžiausiu greičiu dviratininkas gali judėti 100 m spindulio posūkyje ir kokiu kampu jis pasvyra nuo statmens apskritimo centro link, kad nenugriūtų, jeigu ratų gumos trinties koeficientas su kelio paviršiumi lygus 0,4 (4.4 pav.)?

$R = 100$ m $\mu = 0{,}4$	$g = 9{,}8$ m/s^2

v – ? α – ?



4.4 pav.

Sprendimas

Šiame pavyzdyje nagrinėsime jėgas, kurios veikia grindinį dviračio lietimosi taške ir jėgas, veikiančias dviratininką.

Dviratininkui judant apskritimo lanko dalimi, grindinį vertikaliai žemyn veikia slėgio jėga $\vec{F}_{sl}$ ir trinties jėga $\vec{F}_{tr}$, kuri nukreipta iš apskritimo centro. Dviratininką veikia sunkio jėga $m\vec{g}$, atramos reakcijos jėga $\vec{N}$ ir trinties jėga $\vec{F}_{tr}$, kuri nukreipta į judėjimo trajektorijos apskritimo centrą.

Pagal trečiąjį Niutono dėsnį slėgio jėga $\vec{F}_{sl}$ lygi atramos reakcijos jėgai, tik yra nukreipta priešinga kryptimi: $|\vec{F}_{sl}| = |\vec{N}|$. Iš brėžinio matyti, kad atramos reakcijos jėgos $\vec{N}$ ir trinties jėgos $\vec{F}_{tr}$ atstojamoji yra jėga $\vec{F}_a$. Ši jėgų atstojamoji ($\vec{F}_a$) turi veikti išilgai tiesės, einančios per dviratininko sunkio centrą. Jei ši sąlyga nebus patenkinta, dviratininkas pargrius. Vadinasi, dviratininkas ties posūkiu turi pasvirti tam tikru kampu α.

Jėgos $\vec{F}_a$ vektorių lygiagretaus perstūmimo būdu (nekeičiant jėgos didumo ir krypties) perkeliame į tašką O, o pačią jėgą suskaidome į dvi dedamąsias $\vec{N}$ ir $\vec{F}_{įc}$. Iš brėžinio matome, kad $|\vec{N}| = |m\vec{g}|$, o įcentrinė jėga $\vec{F}_{įc}$ dviratininkui suteikia įcentrinį (normalinį) pagreitį: $F_{įc} = \dfrac{mv^2}{R}$ (1). Taip pat matome, kad trinties ir įcentrinės jėgos yra lygios, bet priešingų krypčių: $|\vec{F}_{įc}| = |\vec{F}_{tr}|$ (2). Į 2 formulę įrašome įcentrinės ir trinties jėgų išraiškas ir gauname, kad $\dfrac{mv^2}{R} = \mu N$, arba $\dfrac{mv^2}{R} = \mu mg$ (nes $N = F_{sl} = mg$). Iš pastarosios lygties gauname greičio v išraišką: $v = \sqrt{\mu g R}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame dviratininko greitį v:

$$v = \sqrt{0{,}4 \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 100\ \text{m}} \approx 19{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Pasvirimo kampą nustatome iš trikampio OAB: $\text{tg}\alpha = \frac{F_{\text{jc}}}{N}$, bet $|\vec{N}| = |m\vec{g}|$, todėl $\text{tg}\alpha = \frac{mv^2}{mgR} = \frac{v^2}{gR}$. Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame, kokiu kampu nuo statmens apskritimo centro link pasvyra dviratininkas:

$\text{tg}\alpha = \frac{\left(20\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 100\,\text{m}} \approx 0{,}41$. Naudodamiesi trigonometrinių funkcijų lentelėmis arba skaičiuokliu, randame, kad dviratininkas pasvyra apytiksliai 22° kampu.

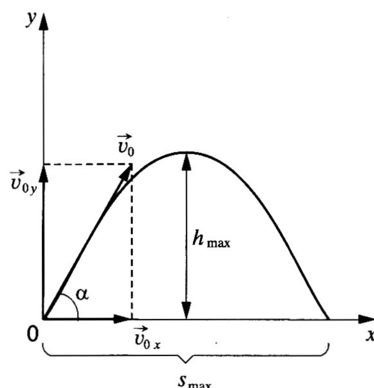
Atsakymas. Kad posūkį įveiktų nenugriūdamas, dviratininkas turėtų judėti pasviręs 20° kampu 20 m/s greičiu.

4.7 pavyzdys

Sviedinys išlėkė iš patrankos pradiniu greičiu v_0, nukreiptu kampu α į horizontą. Raskite: a) sviedinio lėkio trukmę; b) didžiausią jo pakilimo aukštį; c) sviedinio lėkio nuotolį.

v_0
α

$t_{\text{lėkio}}$ – ? $h_{\max}$ – ? $s_{\max}$ – ?



4.5 pav.

Sprendimas

Kampu į horizontą mesto kūno judėjimą apibūdina lygtys: $h_{\max} = v_{0y}t_{\text{pak}} - \frac{gt_{\text{pak}}^2}{2}$, $s_{\max} = v_{0x}t_{\text{lėkio}}$; čia t_{pak} – pakilimo laikas, $t_{\text{lėkio}}$ – lėkio trukmė ir $t_{\text{lėkio}} = 2t_{\text{pak}}$. Iš 4.5 paveikslo matyti, kad $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$ ir $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$, taigi $h_{\max} = v_0 t_{\text{pak}} \sin\alpha - \frac{gt_{\text{pak}}^2}{2}$; $s_{\max} = v_0 t_{\text{lėkio}} \cos\alpha$. Aukščiausiame pakilimo taške sviedinio greitis lygus 0 ($v_y = 0$). Todėl iš lygties $v_y = v_{0y} - gt_{\text{pak}}$ randame pakilimo laiką: $t_{\text{pak}} = \frac{v_{0y}}{g}$. Įrašę v_{0y} išraišką, gauname: $t_{\text{pak}} = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$. Lėkio trukmė bus dvigubai ilgesnė, nes kūno pakilimo ir nusileidimo laikai yra lygūs: $t_{\text{lėkio}} = \frac{2v_0 \sin\alpha}{g}$. Žinodami pakilimo laiką ir v_{0y} išraišką, gauname didžiausią pakilimo aukštį: $h_{\max} = \frac{v_0 \cdot v_0 \sin\alpha \cdot \sin\alpha}{g} - \frac{g \cdot v_0^2 \sin^2\alpha}{2g^2} = \frac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$.

Sviedinio didžiausio lėkio nuotolį rasime taip:

$$s_{max} = v_0 \cos\alpha \frac{2v_0 \sin\alpha}{g} = \frac{2v_0^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

Atsakymas. $h_{max} = \dfrac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$; $s_{max} = \dfrac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$.

4.8 pavyzdys

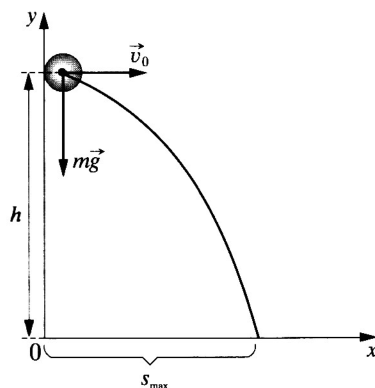
Iš lėktuvo, skrendančio horizontaliai 3920 m aukštyje 720 km/h greičiu, išmetamas krovinys. Kokiu atstumu nuo vietos, virš kurios buvo išmestas, krovinys nukris žemėn?

$h = 3920$ m

$g = 9{,}8$ m/s²

$v_0 = 720 \dfrac{\text{km}}{\text{h}} = 200 \dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

s_{max} – ?



4.6 pav.

Sprendimas

Dėl Žemės traukos (sunkio jėgos) veikimo krovinys juda vertikalia kryptimi, o dėl pradinio greičio $\vec{v}_0$ jis juda horizontalia kryptimi. Vadinasi, krovinys vienu metu dalyvauja dviejuose judėjimuose: horizontalia kryptimi – tiesiaeigiame tolygiajame, o vertikalia kryptimi – tolygiai greitėjančiame judėjime (4.6 pav.). Šiuos judėjimus apibūdina lygtys: $h = v_{0y}t + \dfrac{gt^2}{2}$ ir $s_{max} = v_0 t$.

Pradiniu laiko momentu krovinio greitis vertikalia kryptimi yra $v_{0y} = 0$, todėl $h = \dfrac{gt^2}{2}$ **(1)**; $s_{max} = v_0 t$ **(2)**.

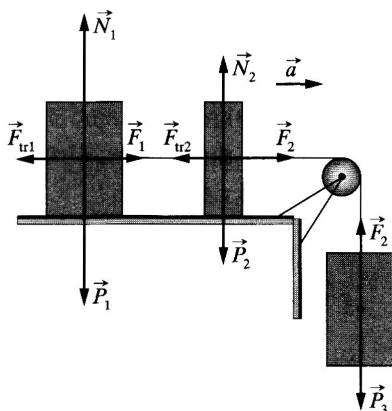
Iš **1** lygties rasime laiką, per kurį krovinys nukrito: $t = \sqrt{\dfrac{2h}{g}}$. Šis laikas lygus laikui, kurį krovinys krito horizontalia kryptimi. Taigi $s_{max} = v_0\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$. Įrašę skaitines vertes, gauname: $s_{max} = 200 \dfrac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \sqrt{\dfrac{2 \cdot 3920\ \text{m}}{9{,}8 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 5600\ \text{m}.$

Atsakymas. Krovinys nukris žemėn 5600 m atstumu nuo išmetimo vietos.

4.9 pavyzdys

Horizontaliu paviršiumi juda du kūnai, veikiami trečiojo, pririšto prie jų siūlu, kuris permestas per nekilnojamąjį skridinį. Kokiu pagreičiu judės kūnai? Kokia yra siūlo įtempimo jėga tarp pirmojo ir antrojo kūno; tarp antrojo ir trečiojo kūno, jei kūnų masės atatinkamai lygios 2 kg, 1 kg, 1 kg, o trinties koeficientas 0,2?

$m_1 = 2$ kg	$g = 9{,}8$ m/s^2
$m_2 = 1$ kg	
$m_3 = 1$ kg	
$\mu = 0{,}2$	
a – ? F_1 – ? F_2 – ?	



4.7 pav.

Sprendimas

Pirmus du kūnus veikia sunkio jėgos $\vec{P}_1$ ir $\vec{P}_2$, nukreiptos vertikaliai žemyn, ir paviršiaus atoveikio (reakcijos) jėgos $\vec{N}_1$ ir $\vec{N}_2$, nukreiptos aukštyn. Pagal trečiąjį Niutono dėsnį sunkio ir atoveikio jėgos, veikiančios kūnus, yra lygios $P_1 = -N_1$ ir $P_2 = -N_2$. Siūlo įtempimo jėga F_2 nukreipta į dešinę pusę, o trinties jėgos F_{tr1} ir F_{tr2} nukreiptos į kairę pusę. Šių jėgų atstojamoji verčia kūną judėti pagreičiu a. Užrašome antrąjį Niutono dėsnį:

$F_2 - (F_{tr1} + F_{tr2}) = (m_1 + m_2)a$, arba $F_2 - \mu(P_1 + P_2) = (m_1 + m_2)a$ (**1**).

Trečiąjį kūną veikia sunkio jėga $\vec{P}_3$ ir siūlo įtempimo jėga $\vec{F}_2$. Šių jėgų atstojamoji kūną, kurio masė m_3, veikia žemyn tuo pačiu pagreičiu a: $P_3 - F_2 = m_3 a$ (**2**).

Spręsdami **1** ir **2** lygtis, randame a ir F_2: $a = \dfrac{g(m_3 - \mu m_2 - \mu m_3)}{m_1 + m_2 + m_3}$;

$$a = \frac{9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(1\text{ kg} - 0{,}2\text{ kg} - 0{,}4\text{ kg})}{2\text{ kg} + 1\text{ kg} + 1\text{ kg}} \approx 1\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

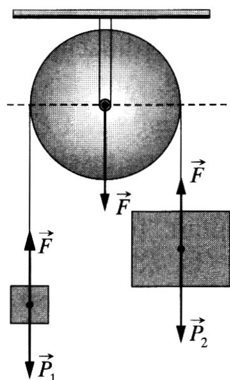
$F_2 = (\mu g + a)(m_1 + m_2)$; $F_2 = \left(0{,}2 \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 1\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(2\text{ kg} + 1\text{ kg}) \approx 9$ N. Siūlo įtempimo jėga tarp pirmojo ir antrojo kūno lygi

$F_1 - F_{tr1} = m_1 a$; $F_1 = (\mu g + a)m_1$; $F_1 = \left(0{,}2 \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 1\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 2\text{ kg} \approx 6$ N.

Atsakymas. Sistema juda 1 m/s^2 pagreičiu. Siūlo įtempimo jėga tarp pirmojo ir antrojo kūno lygi 6 N, o tarp antrojo ir trečiojo – 9 N.

4.10 pavyzdys

Per nekilnojamąjį skridinį permestas siūlas, prie kurio galų pritvirtinti 3 kg ir 5 kg masės kūnai (4.8 pav.). Kokiu pagreičiu juda kūnai ir kokia yra siūlo įtempimo jėga?



4.8 pav.

$m_1 = 3$ kg	$g = 9{,}8$ m/s^2
$m_2 = 5$ kg	

a – ? F – ?

Sprendimas

Kiekvieną kūną veikia dvi jėgos: sunkio jėga, nukreipta žemyn, ir siūlo įtempimo jėga, nukreipta į viršų. Atstojamosios jėgos veikiamas, pirmasis kūnas tolygiai greitėdamas judės aukštyn, o antrasis kūnas – žemyn. Iš čia išplaukia, kad $F - P_1 = m_1a$ ir $P_2 - F = m_2a$; čia $P_1 = m_1g$, o $P_2 = m_2g$.

Gaunamе: $\begin{cases} F - m_1g = m_1a, \\ m_2g - F = m_2g. \end{cases}$

Sprendžiame šią sistemą: $a = \dfrac{(m_2 - m_1)g}{m_2 + m_1}$; $a = \dfrac{(5\,\text{kg} - 3\,\text{kg}) \cdot 9{,}8\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}{5\,\text{kg} + 3\,\text{kg}} = 2{,}45\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}$;

$$F = \frac{2m_1m_2g}{m_1 + m_2}; \quad F = \frac{2 \cdot 3\,\text{kg} \cdot 5\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}}{5\,\text{kg} + 3\,\text{kg}} = 36{,}7\ \text{N}.$$

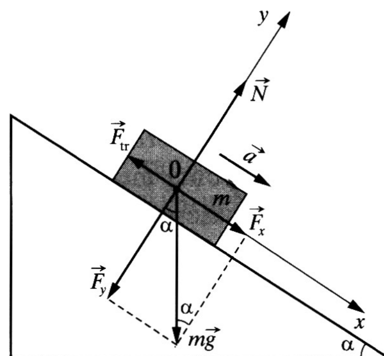
Atsakymas. Kūnai juda 2,45 m/s^2 pagreičiu, o siūlo įtempimo jėga lygi 36,7 N.

4.11 pavyzdys

Nuožulniąja plokštuma, kurios polinkio kampas α (4.9 pav.), juda m masės tašelis. Tašelio trinties į plokštumą koeficientas μ. Raskite tašelio pagreitį a.

α
μ

a – ?



4.9 pav.

Sprendimas

Tašelį veikia trys jėgos: sunkio $\vec{F} = m\vec{g}$, atramos atoveikio (reakcijos) jėga $\vec{N}$ ir trinties jėga $\vec{F}_{tr}$.

Jėgų kryptys parodytos 4.9 paveiksle.

Veikdamos kartu, jėgos suteikia tašeliui pagreitį $\vec{a}$, nukreiptą lygiagrečiai su nuožulniąja plokštuma žemyn.

Koordinačių ašis x ir y nukreipkime išilgai nuožulniosios plokštumos ir statmenai jai. Antrasis Niutono dėsnis šiuo atveju vektorine forma užrašomas taip:

$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{tr}$ (**1**).

Įtakos tašelio judėjimui turės jėgos, kurių veikimo kryptis sutampa su tašelio judėjimo kryptimi (su x ašimi), nes statmenų jėgų projekcijos į šią ašį bus lygios nuliui. Todėl **1** lygtį perrašome skaliarine forma: $ma = F_x - F_{tr}$ (**2**).

Iš 4.8 paveikslo matyti, kad $F_x = mg\sin\alpha$, o $F_{tr} = \mu F_y$. Kadangi $F_y = mg\cos\alpha$, tai $F_{tr} = \mu mg\cos\alpha$.

F_x ir F_{tr} jėgų išraiškas įrašę į **2** lygtį, gauname:

$ma = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$. Iš čia $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$.

Atsakymas ir išvada. Tašelio pagreitis $a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$ mažesnis už laisvojo kritimo pagreitį g ($a < g$). Praktikoje nuožulniosios plokštumos naudojamos kritimo arba judėjimo aukštyn pagreičiui g sumažinti.

4.1. Lėktuvas skrenda horizontaliai 490 m aukštyje 360 km/h greičiu. Kai jis praskrenda virš punkto A, iš jo išmetamas paketas. Kokiu atstumu nuo punkto A paketas nukris ant žemės?

4.2. Vandens čiurkšlė hidromonitoriuje išlekia iš vamzdžio 50 m/s greičiu 35° kampu į horizontą. Apskaičiuokite didžiausią vandens čiurkšlės pakilimo aukštį ir lėkio nuotolį.

4.3. Kokiu kampu į horizontą reikia išmesti kūną, kad jo pakilimo aukštis būtų lygus lėkio nuotoliui?

4.4. Kaip pakis laikas ir lėkio nuotolis, jeigu kūno, išmesto iš tam tikro aukščio horizontaliai, greitis padidės du kartus?

4.5. Iš patrankos išlėkusio sviedinio greitis 1000 m/s. Su horizontu jis sudaro 30° kampą. Apskaičiuokite sviedinio lėkio nuotolį ir jo judėjimo laiką. Patranka ir taškas, į kurį nukrito sviedinys, yra tame pačiame lygyje.

4.6. Kūno, mesto horizontaliai, lėkio nuotolis lygus išmetimo aukščiui. Iš kokio aukščio išmestas kūnas, jei jo greitis lygus 10 m/s?

4.7. Kaip kis vertikalieji ir horizontalieji greičio sandai (dedamosios) visame, kampu į horizontą mesto, kūno judėjimo kelyje? Atsakymą iliustruokite brėžiniu.

4.8. 2 kg masės sviedinys išlekia iš pabūklo vamzdžio horizontaliai 1000 m/s greičiu. Vamzdžio ilgis 3,5 m. Apskaičiuokite parako dujų slėgio jėgą. Tarkite, kad ši jėga yra pastovi.

4.9. 2000 t masės traukinys, važiavęs 36 km/h greičiu, sustojo, nuo stabdymo pradžios nuvažiavęs dar 350 m. Apskaičiuokite stabdančios jėgos didumą ir stabdymo laiką.

4.10. 60 kg masės slidininkas, įgijęs kalno papėdėje 10 m/s greitį, sustojo. Nusileidęs nuo kalno, jis važiavo 40 s. Kokio didumo pasipriešinimo jėga jį veikė?

4.11. 12 t masės troleibusas, pradėjęs judėti horizontaliu keliu, per pirmąsias 5 s nuvažiuoja 10 m atstumą. Kokią traukos jėgą išvysto variklis, jeigu pasipriešinimo koeficientas lygus 0,02?

4.12. Motociklas, kurio masė kartu su motociklininku 180 kg, pajuda iš vietos ir juda greitėjančiai horizontalia 250 m ilgio kelio atkarpa, veikiamas 214 N traukos jėgos. Pasipriešinimo judėjimui koeficientas 0,04. Kiek tai trunka laiko ir kokį greitį per tą laiką įgyja motociklas?

4.13. 0,10 kg masės kūnas, išmestas vertikaliai aukštyn 40 m/s greičiu, pasiekė aukščiausią pakilimo tašką per 2,5 s. Apskaičiuokite vidutinę oro pasipriešinimo jėgą.

4.14. Automobilis važiuoja 100 km/h greičiu. Trinties tarp kelio ir padangų koeficientas 0,4. Kokiu mažiausiu atstumu nuo sankryžos vairuotojas turi pradėti stabdyti?

4.15. Prie virvės, kuri išlaiko 200 N įtempimą, prikabintas 10 kg masės krovinys. Kokiu didžiausiu pagreičiu galima traukti virvę į viršų, kad ji nenutrūktų?

4.16. Per nejudamą skridinį permestas siūlas, o prie jo galų pririšti 3,0 kg ir 1,0 kg masės pasvarėliai. Iš pradžių jie yra vienodame aukštyje. Kokiu atstumu jie nutols vienas nuo kito vertikalia kryptimi, praslinkus nuo judėjimo pradžios 0,2 s? Apskaičiuokite, kokia jėga bus įtemptas siūlas.

4.17. Per nejudamą skridinį permestas siūlas, o prie jo galų prikabinti skirtingos masės svarsčiai. Veikiami sunkio jėgos, jie pradeda judėti ir per pirmąsias 2,0 s kiekvienas nueina 1,96 m kelią. Kokia yra mažesnio svarsčio masė, jei didesniojo masė 1,1 kg?

4.18. 1000 N svorio kūnas yra ant nuožulniosios plokštumos, kurios aukštis 15 m ir ilgis 25 m. Kokio didumo jėga reikia veikti tą kūną lygiagrečiai su nuožulniąja plokštuma, kad jis tolygiai judėtų aukštyn? Žemyn? Kokio didumo jėga tada kūnas veiks nuožulniąją plokštumą? Trinties nepaisykite.

4.19. Ant nuožulniosios plokštumos, sudarančios su horizontu 30° kampą, padėtą kūną veikia 1000 N sunkio jėga. Kokio didumo jėga reikia veikti lygiagrečiai su nuožulniąja plokštuma, kad kūnas išliktų plokštumoje, jeigu ramybės trinties koeficientas lygus 0,20? Apskaičiuokite jėgą, kuri privers jį tolygiai judėti nuožulnia plokštuma į viršų, jeigu slydimo trinties koeficientas lygus 0,15.

4.20. Kūnas slenka tolygiai žemyn nuo nuožulniosios plokštumos. Paviršiaus trinties koeficientas lygus 0,84. Kokiu kampu į horizontą pasvirusi nuožulnioji plokštuma? Kokio didumo jėga, lygiagrečia su plokštuma, reikia veikti 100 kg masės kūną, norint tolygiai jį kelti?

4.21. Berniukas kyla į kalniuką, pasvirusį 30° kampu. Trinties tarp kalniuko ir berniuko batų koeficientas lygus 0,2. Kokiu pradiniu greičiu turėtų bėgti berniukas, kad pakiltų į 2 m aukštį?

4.22.* 2 kg masės kūną, judantį 20 m/s pradiniu greičiu, pradeda veikti 3 N ir 4 N jėgos, kurios su pradinio greičio kryptimi sudaro 60° ir 120° kampus. Koks bus kūno pagreitis, greitis ir poslinkis po 10 s?

4.23.* Lynu, kurio standumas k, keliamas P svorio krovinys. Per pirmąsias t sekundes jis tolygiai greitėdamas pasiekia aukštį h. Kiek pailgėja lynas? Lyno deformaciją laikykite tampria, o jo masės ir oro pasipriešinimo nepaisykite.

4.24.* Berniukas, kurio masė 40 kg, šokinėjo nuo 1 m aukščio laiptų ant grindų. Kokia jėga berniukas slėgė grindis tuo momentu, kai jis jas palietė: a) nesulenkęs kojų per kelius ir jo kūno bei grindų bendra deformacija buvo 20 mm; b) sulenkęs kojas ir bendra deformacija buvo 20 cm?

4.25.* Žmogus eina ledu. Jo kojų ilgis 1 m, trinties tarp batų ir ledo koeficientas 0,1. Kokio ilgio žingsnį žmogus gali žengti nebijodamas parkristi?

4.26.* Dėžė stumiama horizontaliomis grindimis jėga F, lygia dėžės svoriui P. Trinties koeficientas 0,8. Kokį didžiausią kampą turi sudaryti jėga su grindimis, kad dėžė slystų tolygiai?

4.27.* Kūnas tolygiai slysta nuožulniąja plokštuma, kurios polinkio kampas 40°. Apskaičiuokite jo paviršiaus koeficientą.

4.28.* 1 t masės automobilis kyla 30° įkalne, veikiamas 7 kN traukos jėgos. Automobilio padangų trinties ir kelio paviršiaus koeficientas lygus 0,1. Raskite automobilio pagreitį.

4.29.* Tas pats kūnas buvo pasvertas spyruoklinėmis ir svirtinėmis svarstyklėmis pusiaujyje ir ašigaliuose. Kas pastebėta?

4.30.* Lėktuvas daro aukštojo pilotažo figūrą – Nesterovo kilpą. Atsidūręs apatiniame kilpos taške, lakūnas slegia kėdę 8000 N jėga. Lakūno masė 80 kg, kilpos spindulys 200 m. Apskaičiuokite lėktuvo greitį.

4.31.* Posūkyje motociklininkas važiuoja 90 km/h greičiu. Motociklo ratų trinties į asfaltą koeficientas lygus 0,65. Koks gali būti mažiausias motociklo trajektorijos kreivumo spindulys? Kokiu kampu motociklininkas pasvyra į šoną horizontaliosios krypties link?

4.32.* Lėktuvas, skrendantis 1260 km/h greičiu, horizontalioje plokštumoje nubrėžia 8000 m spindulio apskritimą. Kokiu kampu į šią plokštumą pasvyra lėktuvas? Kiek kartų padidėja lakūno apkrova?

4.33.* Prie siūlo, išlaikančio 20 N įtempimo jėgą, pritvirtintas 1 kg masės pasvaras. Kokiu didžiausiu kampu nuo vertikaliosios krypties galima patraukti siūlą į šoną, kad, eidamas per pusiausvyros padėtį, jis nenutrūktų?

4.34.* Vairuotojas, važiuodamas 72 km/h greičiu, aukščiausiame kalvos taške paspaudė stabdį. Kalvos kreivumo spindulys 40,8 m, trinties koeficientas 0,7. Apskaičiuokite stabdymo pagreitį.

4.35.* Stataus vamzdžio sienelėmis ratu bėga pelė. Vidinis vamzdžio spindulys 0,02 m, trinties tarp vamzdžio ir pelės kojų koeficientas 0,5. Kokiu greičiu turėtų bėgti pelė, kad neslystų žemyn?

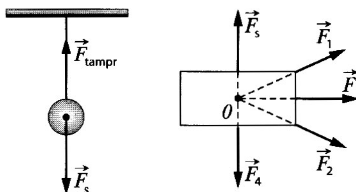
4.36.* Kelio posūkiu, kurio spindulys 20 m, važiuoja motociklininkas. Jo polinkio į horizontaliąją plokštumą kampas 60°, trinties koeficientas 0,2. Kokiu greičiu motociklininkas gali važiuoti neapvirsdamas? Apskaičiuokite didžiausią ir mažiausią greičio vertę.

4.37.* Trys lėktuvai, skrisdami greta vienodame aukštyje 60 m atstumu vienas nuo kito, suka į kairę. Vidurinysis lėktuvas skrenda 360 km/h greičiu. Jo posūkio kreivumo spindulys 600 m. Apskaičiuokite kiekvieno lėktuvo pagreitį.

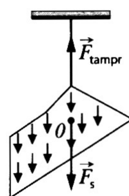
4.38.* Cirko artistas motociklu važiuoja cilindro siena 10 m/s greičiu. Cilindro skersmuo 8 m. Koks turi būti mažiausias trinties tarp sienos ir motociklo ratų koeficientas, kad numeris pavyktų?

5. Kūnų pusiausvyra

Mechanikos skyrius, nagrinėjantis kūnų pusiausvyros sąlygas, vadinamas statika.

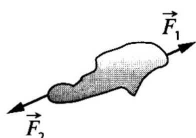


Bet kurios formos kūnas turi tik vieną tašką, kuriame susikerta visos tiesės, išilgai kurių veikdamos jėgos verčia kūną slinkti. Tas taškas – kūno masės centras.



Taškas, per kurį eina bet kurioje padėtyje esantį kūną veikiančių sunkių jėgų atstojamoji, vadinamas kūno sunkio centru. Kūno sunkio centras sutampa su jo masės centru, kai kūnas yra vienalyčiame gravitaciniame lauke.

Nesisukančių kūnų pusiausvyra

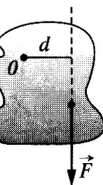


Nesisukantis kūnas yra pusiausviras, kai jį veikiančių jėgų geometrinė suma lygi nuliui:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + ... + \vec{F}_n = 0.$$

Kūnų, turinčių sukimosi ašį, pusiausvyra

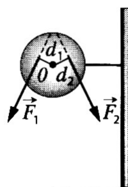
Jėgos momentas



$M = Fd;$
$[M] = \text{Nm}.$

Jėgos ir jos peties sandauga vadinama jėgos momentu.

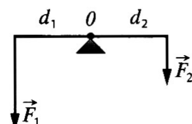
Momentų taisyklė



Kūnas, turintis nejudamą sukimosi ašį, yra pusiausviras, kai jį veikiančių jėgų momentų tos ašies atžvilgiu geometrinė suma lygi nuliui:

$$\vec{F}_1 d_1 + \vec{F}_2 d_2 + ... + \vec{F}_n d_n = 0.$$

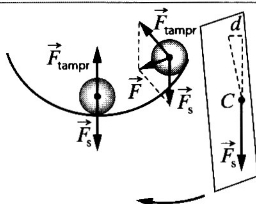
Sverto taisyklė



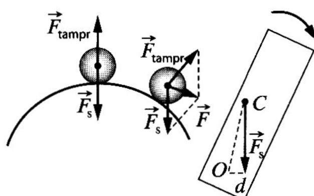
Svertas išlieka pusiausviras, kai jį veikiančios jėgos yra atvirkščiai proporcingos tų jėgų pečiams:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

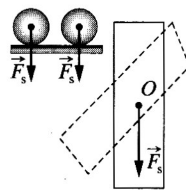
Pusiausvyros rūšys



Kūno pusiausvyra yra pastovi, kai, jam šiek tiek nukrypus nuo pusiausvyros padėties, veikiančių jėgų atstojamoji verčia kūną grįžti į pusiausvyros padėtį.

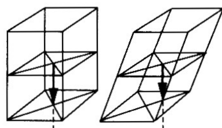


Pusiausvyra yra nepastovi, kai kūną, šiek tiek nukrypusį nuo pusiausvyros padėties, veikiančių jėgų atstojamoji verčia tolti nuo pusiausvyros padėties.



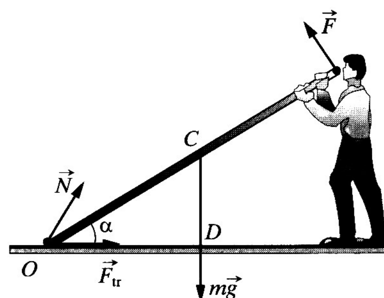
Pusiausvyra yra visokeriopa (beskirtė), kai maži nukrypimai nuo jos nesukelia jokių kūno pusiausvyros kitimų.

Ant atramos esančio kūno pusiausvyra



Kūno pusiausvyros pastovumui būtina, kad statmuo, einantis per jo sunkio centrą, kirstų atramos plotą. Vertikaliai nukrypęs nuo kūno atramos paviršiaus, kūnas pusiausvyros neišlaiko.

5.1 pavyzdys



5.1 pav.

Darbininkas laiko už galo 50 kg masės lentą, pasvirusią į grindis 30° kampu. Kokio didumo jėgos reikia lentai išlaikyti, jeigu ji statmena lentos plokštumai (5.1 pav.)?

$\alpha = 30°$
$m = 50$ kg
F – ?

Sprendimas

Lentą veikia sunkio jėga $m\vec{g}$ taške, sutampančiame su sunkio centru, darbininko jėga $\vec{F}$, trinties jėga $\vec{F}_{tr}$ ir atramos atoveikio jėga $\vec{N}$ (5.1 pav.). Šių jėgų momentus nagrinėsime taško O atžvilgiu: jėgos $\vec{F}$ petys lygus lentos ilgiui l, jėgos $m\vec{g}$ petys – atkarpos OD ilgiui, jėgų $\vec{N}$ ir $\vec{F}_{tr}$ pečiai lygūs nuliui. Iš stačiojo trikampio OCD randame, kad $OD = \frac{1}{2} l \cos\alpha$. Sudarome momentų taško O atžvilgiu lygtį $mg\frac{1}{2} l \cos\alpha - Fl = 0$ ir iš jos randame F: $F = \frac{mgl\cos\alpha}{2l} = \frac{mg\cos\alpha}{2}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame jėgą F:

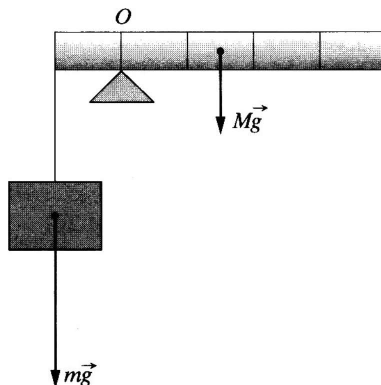
$$F = \frac{50\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} \cos 30° = \frac{50\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2} 0{,}87 = 210\,\text{N}.$$

Atsakymas. Darbininkas lentą laiko 210 N jėga.

5.2 pavyzdys

Prie vienalyčio strypo galo pritvirtintas 3 kg masės krovinys. Kitą strypo galą parėmus ties tašku, nutolusiu nuo krovinio per $\frac{1}{5}$ strypo ilgio, gaunama pusiausvyra (5.2 pav.). Apskaičiuokite to strypo masę M.

$m = 3$ kg
$d_2 = \frac{1}{5} l$
M – ?



5.2 pav.

Sprendimas

Strypą sunkio centre veikia jėga $M\vec{g}$ ir pritvirtinto krovinio sunkio jėga $m\vec{g}$. Užrašome jėgos momentų atramos taško O atžvilgiu lygtį: $Mgd_1 - mgd_2 = 0$ **(1)**, čia d_1 ir d_2 – jėgų petys, kurie pagal uždavinio sąlygą užrašomi taip: $d_1 = \frac{l}{2} - \frac{l}{5} = 0{,}3\,l$; $d_2 = \frac{l}{5} = 0{,}2\,l$ **(2)**. **2** lygtį įrašę į 1, gauname: $Mg \cdot 0{,}3\,l - mg \cdot 0{,}2\,l = 0$. Matematiškai pertvarkę šią lygtį, įrašome dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame M:

$$M = \frac{0{,}2 \cdot m}{0{,}3};\quad M = \frac{0{,}2 \cdot 3\,\text{kg}}{0{,}3} = 2\ \text{kg}.$$

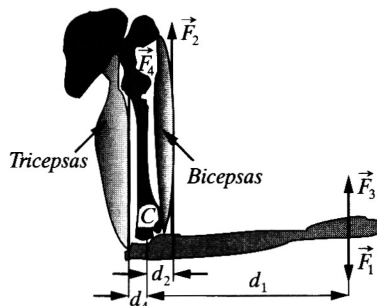
Atsakymas. Strypo masė lygi 2 kg.

5.3 pavyzdys

Žmogaus ranka (5.3 pav.) sukasi per alkūnės sąnarį apie ašį, statmeną paveikslo plokštumai ir einančią per tašką C. Susitraukiantis bicepsas (lot. *biceps* – dvigalvis; peties dvigalvis raumuo, lenkiantis ranką per alkūnės sąnarį) suka stipinkaulį prieš laikrodžio rodyklę, o susitraukiantis tricepsas (lot. *triceps* – trigalvis; trigalvis raumuo) – pagal laikrodžio rodyklę. Tarkime, kad bicepso jėgos petys $d_2 = 5$ cm, o tricepso – $d_4 = 2$ cm. Raskite, kokia jėga įsitempia tricepsas, kai žmogus ant delno atstumu $d_1 = 35$ cm nuo taško C laiko 5 kg masės krovinį; kokia jėga įsitempia tricepsas, jei žmogus spaudžia rankeną žemyn jėga $F_3 = 10$ N. Rankos masės nepaisykite.

$d_1 = 35$ cm $= 0{,}35$ m
$d_2 = 5$ cm $= 0{,}05$ m
$d_4 = 2$ cm $= 0{,}02$ m
$m_1 = 5$ kg
$F_3 = 10$ N

$F_2 - ?\ F_4 - ?$



5.3 pav.

Sprendimas

Žmogaus delną, laikantį 5 kg masės krovinį, veikia žemyn nukreipta jėga $F_1 = mg$. Šios jėgos momentą turi kompensuoti bicepso įtempimo jėgos F_2 momentas, taigi: $mgd_1 = F_2d_2$. Iš šios lygties išsireiškiame jėgą F_2 ir, įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame jos didumą:

$$F_2 = mg\frac{d_1}{d_2};\quad F_2 = 5\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{0{,}35\,\text{m}}{0{,}05\,\text{m}} = 343\ \text{N}.$$

Žmogui spaudžiant rankeną žemyn jėga F_3, tokio pat dydžio jėga veikia jo delną aukštyn. Šios jėgos momentą turi kompensuoti tricepso įtempimo jėgos F_4 momentas, t. y.: $F_3 d_1 = F_4 d_4$. Iš šios lygties išreiškiame jėgą F_4 ir, įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame, kokia jėga įsitempia tricepsas:

$$F_4 = F_3 \frac{d_1}{d_4}; \quad F_4 = 10\,\mathrm{N} \cdot \frac{0{,}35\,\mathrm{m}}{0{,}02\,\mathrm{m}} = 175\,\mathrm{N}.$$

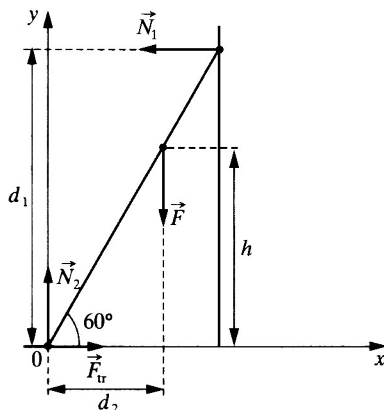
Atsakymas. Bicepsas įsitempia jėga, lygia 343 N, o tricepsas – jėga, lygia 175 N.

5.4 pavyzdys

4 m ilgio kopėčios atremtos į idealiai lygią sieną 60° kampu į horizontą. Trinties tarp kopėčių ir grindų koeficientas 0,33. Kaip aukštai gali užlipti kopėčiomis žmogus, kol jos nepradės slysti? Kopėčių masės nepaisykite.

$l = 4$ m
$\alpha = 60°$
$\mu = 0{,}33$

h – ?



5.4 pav.

Sprendimas

Kopėčias veikia: žmogaus slėgio jėga $\vec{F}$, sienos ir grindų atoveikio jėgos $\vec{N}_1$ ir $\vec{N}_2$, trinties jėga $\vec{F}_{tr}$ (5.4 pav.). Į kopėčių slydimą galime žiūrėti kaip į kartu vykstantį dvejopą judėjimą – sukimąsi (apie tašką 0) ir slinkimą (priešinga x ašiai kryptimi). Pirmoji kopėčių pusiausvyros sąlyga vektoriškai užrašoma taip:
$\vec{F} + \vec{N}_1 + \vec{N}_2 + \vec{F}_{tr} = 0$.

Suprojektavę šios lygties vektorius į pasirinktas x ir y ašis, gauname skaliarines lygtis: $F_{tr} - N_1 = 0$; $N_2 - F = 0$ (**1**).

Užrašome antrąją kopėčių pusiausvyros (taško 0 atžvilgiu) sąlygą: $M_1 - M_2 = 0$ (**2**); čia $M_1 = N_1 d_1$ ir $M_2 = F d_2$ (jėgų $\vec{N}_1$ ir $\vec{F}$ momentai taško 0 atžvilgiu).

Iš 5.4 paveikslo matyti, kad $d_1 = l \sin\alpha$ ir $d_2 = \frac{h}{\mathrm{tg}\alpha}$, nes $\mathrm{tg}\alpha = \frac{h}{d_2}$ (jėgų $\vec{N}_1$ ir $\vec{F}$ pečiai). Įrašę išraiškas į **2** lygtį, gauname: $N_1 l \sin\alpha - Fh\,\mathrm{tg}\alpha = 0$. Iš šios lygties išreiškiame aukštį h, į kurį gali užkopti žmogus: $h = \frac{N_1 l \sin\alpha}{F\,\mathrm{tg}\alpha} = \frac{N_1 l}{F}\mathrm{tg}\alpha$.

Iš **1** lygties išreiškiame N_1: $N_1 = \mu F$, tuomet $h = \mu l\,\mathrm{tg}\alpha$. Įrašę skaitines vertes, apskaičiuojame ieškomą aukštį: $h = 0{,}33 \cdot 4\,\mathrm{m} \cdot \mathrm{tg}60° = 0{,}33 \cdot 4\,\mathrm{m} \cdot \sqrt{3} \approx 0{,}8\,\mathrm{m}$.

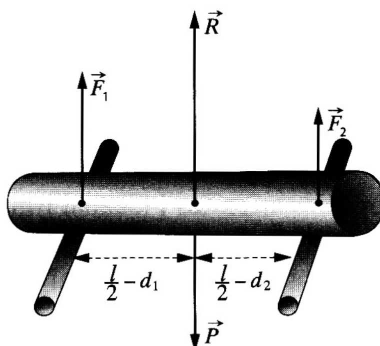
Atsakymas. Žmogus gali užlipti kopėčiomis į 0,8 m **aukštį**.

5.5 pavyzdys

Darbininkai neša 4 m ilgio ir 1,96 kN svorio rąstą, padėję jį ant dviejų laužtuvų taip, kaip parodyta 5.5 paveiksle. Laužtuvai padėti 0,5 m ir 0,3 m atstumu nuo rąsto galų. Kokiomis jėgomis darbininkai veikia rąstą?

$l = 4$ m
$P = 1{,}96$ kN $= 1960$ N
$d_1 = 0{,}5$ m
$d_2 = 0{,}3$ m

F_1 –? F_2 – ?



5.5 pav.

Sprendimas

Rąstą veikia trys jėgos: $\vec{F}_1$ – pirmojo darbininko rankų atstojamoji jėga; $\vec{F}_2$ – antrojo darbininko rankų atstojamoji jėga ir $\vec{P}$ – rąsto sunkio jėga, kuri atsveria jėgas $\vec{F}_1$ ir $\vec{F}_2$. Dėl šios sąlygos rąstas yra pusiausviras. Vadinasi,

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{l}{2} - d_2}{\frac{l}{2} - d_1}, \text{ nes } F_1\left(\frac{l}{2} - d_1\right) = F_2\left(\frac{l}{2} - d_2\right), \text{ arba } \frac{F_1}{P - F_1} = \frac{\frac{l}{2} - d_2}{\frac{l}{2} - d_1}.$$

Iš pastarosios lygties randame F_1: $F_1 = \frac{P(l - 2d_2)}{2(l - d_1 - d_2)}$. Įrašome dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame F_1: $F_1 = \frac{1960\text{ N}(4\text{ m} - 2 \cdot 0{,}3\text{ m})}{2(4\text{ m} - 0{,}5\text{ m} - 0{,}3\text{ m})} = 1040\text{ N}.$

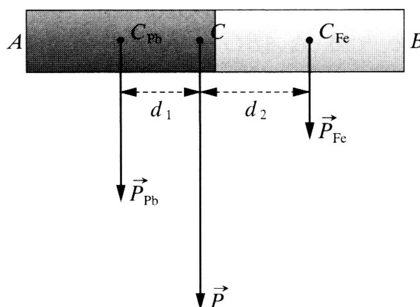
Dabar apskaičiuojame jėgą F_2: $F_2 = 1960$ N – 1040 N = 920 N.

Vadinasi, pirmojo darbininko vienai rankai tenkanti jėga lygi 520 N, antrojo darbininko – 460 N.

Atsakymas. Pirmasis darbininkas rąstą veikia jėga F_1, lygia 1040 N, antrasis darbininkas – jėga F_2, lygia 920 N.

5.6* pavyzdys

Vienodo skerspjūvio ploto strypas pagamintas iš dviejų lygių dalių – švino ir geležies (5.6 pav.). Apskaičiuokite strypo svorio (masės) centrą, jei jo ilgis lygus 0,4 m.



5.6 pav.

$l = 0{,}4$ m	$\rho_{Pb} = 11{,}3 \cdot 10^3$ kg/m³
	$\rho_{Fe} = 7{,}8 \cdot 10^3$ kg/m³
d_1 – ?	

Sprendimas

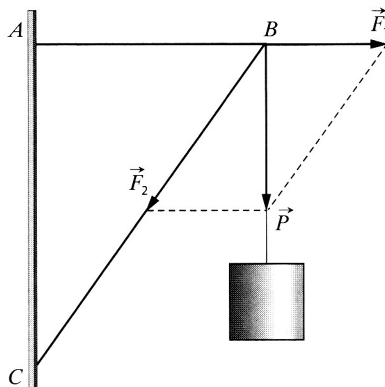
Švininio ir geležinio strypo svorio centrai yra šių atitinkamų dalių geometriniuose centruose C_{Pb} ir C_{Fe}. Viso strypo svorio arba masės centras yra tarp taškų C_{Pb} ir C_{Fe} ir šią atkarpą dalija į dalis, atvirkščiai proporcingas švino ir geležies svoriui: $\frac{d_1}{d_2} = \frac{P_{Fe}}{P_{Pb}}$ (**1**). Žinome, kad $P_{Fe} = \rho_{Fe}Vg$ ir $P_{Pb} = \rho_{Pb}Vg$ (**2**). Iš 5.6 paveikslo matyti, kad $d_2 = \frac{l}{2} - d_1$ (**3**). Įrašę (**3**) ir (**2**) lygtis į (**1**) lygtį ir matematiškai pertvarkę, gauname: $d_1 = \frac{\rho_{Fe}l}{2(\rho_{Pb} + \rho_{Fe})}$. Įrašome dydžių skaitines vertes ir randame d_1:

$$d_1 = \frac{7{,}8 \cdot 10^3 \,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}4 \text{ m}}{2(11{,}2 \cdot 10^3 \,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 7{,}8 \cdot 10^3 \,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3})} = 0{,}08 \text{ m}.$$ Tuomet $d_2 = 0{,}2$ m – 0,08 m = 0,12 m.

Atsakymas. Strypo masės centras nuo jo galo A yra atstumu, lygiu 0,10 m + + 0,08 m = 0,18 m. 5.6 paveiksle tai – taškas C. Vadinasi, šio nevienalyčio strypo AB svorio (masės) centras yra taške C, kuriame strypą veikia sunkio jėga $\vec{P}$.

5.7* pavyzdys

Ant horizontalios sijos pakabintas 50 kg masės kūnas. Apskaičiuokite jėgas, veikiančias siją AB ir skersinį BC, jeigu sijos ilgis 0,6 m, o skersinio ilgis 1 m (5.7 pav.).



5.7 pav.

Sprendimas

$m = 50$ kg
$AB = d_1 = 0{,}6$ m
$BC = d_2 = 1$ m
F_1 – ?; F_2 – ?

Kūną veikiančią sunkio jėgą išskaidome į du sandus (dvi dedamąsias): F_1, kuris tempia (lenkia) horizontalią siją, ir F_2, gniuždantį skersinį BC. Iš 5.7 paveikslo matome, kad $\Delta ABC \sim \Delta BF_1P$, todėl galime užrašyti:

$\frac{AB}{AC}=\frac{BF_1}{BP}$ arba $\frac{AB}{\sqrt{BC^2-AB^2}}=\frac{F_1}{P}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame jėgą F_1 ir, įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame jos dydį:

$$F_1=\frac{AB}{\sqrt{BC^2-AB^2}}mg;\quad F_1=\frac{0{,}6\ \text{m}}{\sqrt{1\ \text{m}^2-(0{,}6\ \text{m})^2}}50\ \text{kg}\cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}=367{,}5\ \text{N}.$$

Pritaikę šią matematinę priklausomybę, apskaičiuojame jėgą F_2:

$$\frac{BC}{AC}=\frac{F_1P}{BP}=\frac{F_2}{P};\quad F_2=\frac{BC}{AC}mg;\quad F_2=\frac{1\ \text{m}}{0{,}8\ \text{m}}50\ \text{kg}\cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}=612{,}5\ \text{N}.$$

Atsakymas. Horizontalią siją tempia 367,5 N jėga, o skersinį gniuždo 612,5 N jėga.

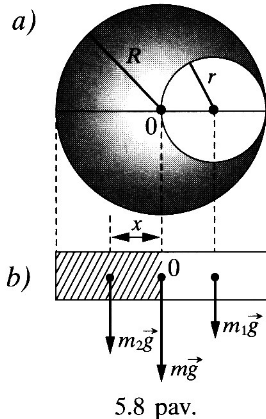
5.8* pavyzdys

Vienalytės plokščios plokštelės forma yra skritulys, iš kurio išpjautas jį liečiantis perpus mažesnio spindulio skritulys (5.8 pav., *a*). Kurioje vietoje yra plokštelės masės centras?

R

$r=\frac{R}{2}$

x – ?



5.8 pav.

Sprendimas

Įsivaizduokime, kad išpjautąją plokštelės dalį įdėjome į vietą. Tada kūno sunkio jėgą $m\vec{g}$ galėsime laikyti dviejų jėgų (5.8 pav., *b*): išpjautosios dalies sunkio jėgos $m_1\vec{g}$ ir likusios dalies (duotosios plokštelės) sunkio jėgos $m_2\vec{g}$ atstojamąja.

Ištisinė plokštelė bus pusiausvira atžvilgiu ašies, einančios per tašką O.

Užrašome sistemos pusiausvyros šios ašies – atžvilgiu sąlygą: $-M_1+M_2=0$ (**1**); čia $M_1=m_1gr$ ir $M_2=m_2gx$ yra sunkio jėgų $m_1\vec{g}$ ir $m_2\vec{g}$ momentai taško O atžvilgiu; r ir x – tų jėgų pečiai.

Atsižvelgę į šiuos paaiškinimus, **1** lygtį perrašome taip: $-m_1gr+m_2gx=0$; iš čia $x=\frac{m_1r}{m_2}$ (**2**).

Vienalyčių vienodo storio plokštelių masės formulė yra $m=\rho Sh=\rho\pi R^2h$; $m_1=\rho S_1h=\rho\pi r^2h$; $m_2=m-m_1=\rho\pi h(R^2-r^2)$; čia ρ – plokštelių medžiagos tankis; S – visos plokštelės plotas; S_1 – išpjautosios dalies plotas; h – plokštelės storis. Matematiškai pertvarkę, **2** lygtį užrašome taip:

$$x=\frac{\pi\rho h r^2 r}{\pi\rho h(R^2-r^2)}=\frac{r^3}{R^2-r^2}.$$ Įrašę sąlygoje duotas vertes $\left(r=\frac{R}{2}\right)$, gauname:

$$x=\frac{R^3}{8\left(R^2-\frac{R^2}{4}\right)}=\frac{R}{6}.$$

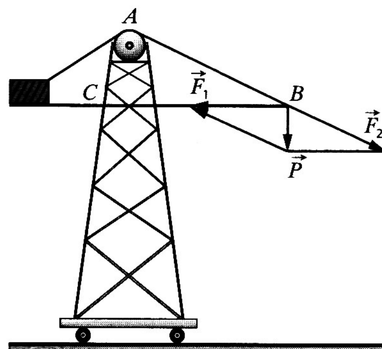
Atsakymas. Masės centras yra nutolęs nuo plokštelės centro atstumu $\frac{R}{6}$.

5.9* pavyzdys

Apskaičiuokite, kokios jėgos veikia bokštinio krano strėlę *BC* ir lyną *AB*, tolygiai keliant 98 kN svorio krovinį, jeigu žinoma, kad *AB* = 10 m, o *BC* = 8,5 m (5.9 pav.).

P = 98 kN = 98 000 N = 98 · 10³ N
AB = 10 m
BC = 8,5 m

F_1 – ? F_2 – ?



5.9 pav.

Sprendimas

Krovinį veikiančią sunkio jėgą išskaidome į du sandus (dedamąsias): F_1 – veikia bokštinio krano strėlę ir F_2 – veikia lyną, prie kurio pritvirtintas krovinys. Iš 5.9 paveikslo matome, kad

$\Delta ABC \sim \Delta BF_1P$. Vadinasi, galime parašyti: $\frac{BC}{AC}=\frac{BF_1}{BP}$, arba

$\frac{BC}{\sqrt{AB^2-BC^2}}=\frac{F_1}{P}$. Iš čia $F_1=\frac{BC}{\sqrt{AB^2-BC^2}}P$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame F_1: $F_1=\frac{8{,}5\ \text{m}}{\sqrt{(10\ \text{m})^2-(8{,}5\ \text{m})^2}}\cdot 98\,000\ \text{N}=15{,}7\cdot10^4\ \text{N}=157\ \text{kN}$.

Lyną veikiančiai jėgai F_2 apskaičiuoti užrašome tokią lygtį:

$\frac{AB}{AC}=\frac{BF_2}{BP}=\frac{F_2}{P}$; taigi $F_2=\frac{AB}{AC}P$. Įrašę skaitines vertes, gauname:

$$F_2=\frac{10\ \text{m}}{5{,}3\ \text{m}}98\cdot10^3\text{N}=18{,}5\cdot10^4\text{N}=185\ \text{kN}.$$

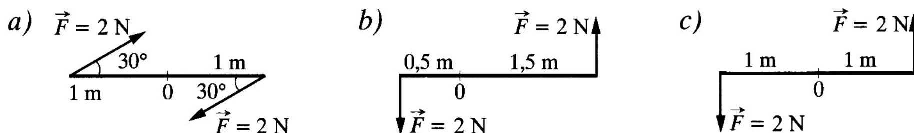
Atsakymas. Jėga, veikianti bokštinio krano strėlę, lygi 157 kN, o jėga, veikianti lyną, – 185 kN.

5.1. Kodėl ilgu raktu lengviau atsukti veržlę negu trumpu?

5.2. Kuri iš dviejų vienodos masės priekabų lengviau apvirs – ta, kuri prikrauta malkų, ar ta, kuri prikrauta šieno? Atsakymą pagrįskite.

5.3. Kaip lengviau išjudinti iš vietos automobilį: ar veikiant jėga į kėbulą, ar veikiant į padangą liestinės kryptimi? Atsakymą pagrįskite.

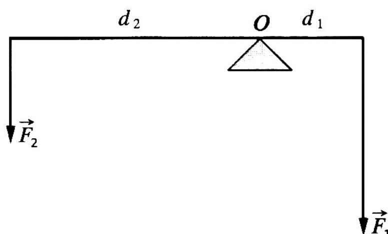
5.4. Apskaičiuokite 5.10 paveiksle *a, b, c* pavaizduotų jėgų porų momentus.



5.10 pav.

5.5. Plokštę reikia apversti ant šono. Kaip verčiant reikės panaudoti mažiausią jėgą? Atsakymą pagrįskite.

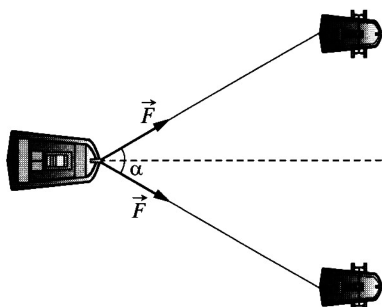
5.6. Taške *O* paremtą kūną veikia lygiagrečios jėgos $F_1 = 40$ N ir $F_2 = 10$ N, kurių pečiai atitinkamai lygūs 0,20 m ir 0,80 m (5.11 pav.). Raskite atstojamosios jėgos momentą sukimosi ašies atžvilgiu ir pačią atstojamąją jėgą.



5.11 pav.

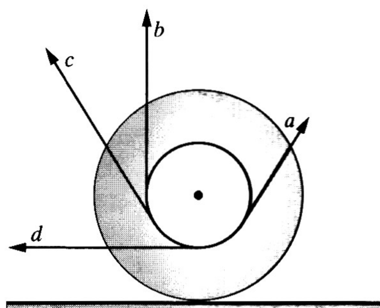
5.7. Valtį, pririštą prie kranto 5 m virve, veikia upės tėkmės jėga, lygi 160 N, ir statmenai nuo kranto pučiančio vėjo slėgio jėga, lygi 120 N. Kokia didumo jėga įtempia virvę ir kokiu atstumu nuo kranto yra valtis?

5.8. Du buksyriniai garlaiviai tolygiai traukia laivą trosais, sudarančiais tarpusavyje 60° kampą (5.12 pav.). Kokio didumo jėga priešinasi laivo judėjimui, jeigu abu trosai įtempti vienoda $2 \cdot 10^4$ N jėga?



5.12 pav.

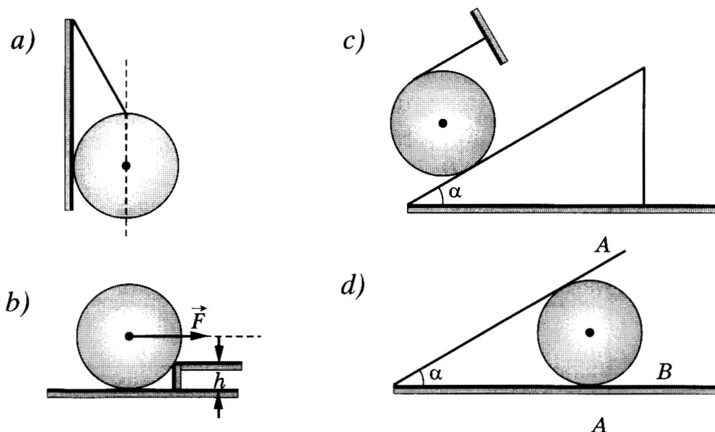
5.9. Nepilna siūlų ritė traukiama už siūlo įvairiomis kryptimis. Remdamiesi jėgos momento sąvoka, paaiškinkite, į kurią pusę riedės ritė (5.13 pav.).



5.13 pav.

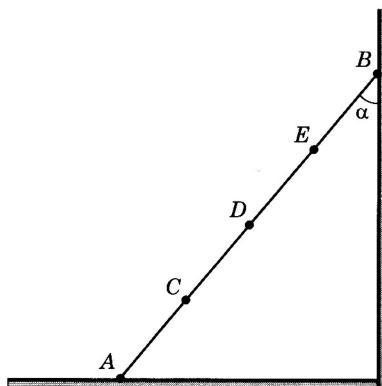
5.10. Metalo lakštai karpomi žirklėmis, kurių rankenos ilgos, o ašmenys trumpi. Kokio didumo jėga veikia kerpamą lakštą, jeigu rankenas veikia 20 N jėga, o jėgų pečių ilgis 20 cm ir 5 cm?

5.11. Brėžiniuose nurodytų ritinių masė m, spindulys R, trinties koeficientas μ (5.14 pav.). Pritaikykite jėgos momentų taisyklę ir apskaičiuokite: a) trinties koeficientą μ, kuriam esant ritinys nekeistų padėties; b) jėgą, kuria galima užtraukti ritinį ant pakopos esant didelei trinčiai, kai spindulys lygus 50 cm; pakopos aukštis h lygus 30 cm, o ritinio masė 40 kg; c) didžiausią nuolydžio kampą α, kuriam esant ritinys neslystų, kai trinties koeficientas lygus 0,2; d) mažiausią trinties koeficientą, kad spaudžiant lentas A ir B, ritinys nejudėtų, kai nuolydžio kampas α lygus 30°.



5.14 pav.

5.12. Prie sienos pastatytos 40 kg ir 4 m ilgio kopėčios, sudarančios su siena kampą α (5.15 pav.). Kopėčių rimties trinties į grindis koeficientas 0,2. Apskaičiuokite maksimalų kampą α: a) kad kopėčios neslystų; b) kad neslystų, kai kopėčių viduryje D stovi 70 kg masės žmogus; c) kad neslystų, kai tas žmogus stovi taške C, jei $AC=\frac{l}{4}$; d) kad neslystų, kai žmogus stovi taške E, jei $AE=\frac{3l}{4}$.

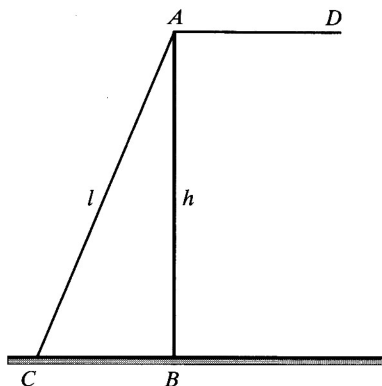


5.15 pav.

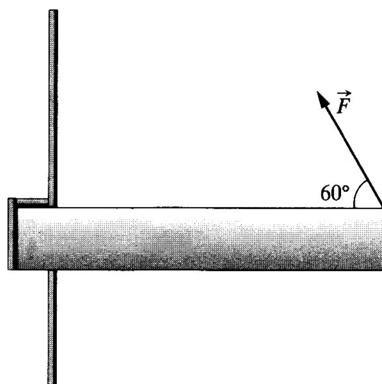
5.13. Vienodo spindulio R aliuminio ir cinko rutuliai sujungti lietimosi taške. Įrodykite, kad šios sistemos sunkio centras yra nutolęs 0,45 R atstumu nuo cinko rutulio centro.

5.14. Stiebą AB veikia horizontaliai įtempta antena AD ir atotampa AC vienodomis 1,6 kN jėgomis (5.16 pav.). Apskaičiuokite atotampos ir antenos įtempimo jėgas, jei stiebo aukštis h = 12 m, o atotampos ilgis l = 15 m.

5.15. Horizontalios sijos vienas galas įmūrytas sienoje, o kitą jos galą veikia 2,0 kN jėga, sudaranti su horizontu kampą α = 60°(5.17 pav.). Kokio didumo jėga siją lenkia ir kokio didumo ją spaudžia? (Į sijos svorį nekreipkite dėmesio.)

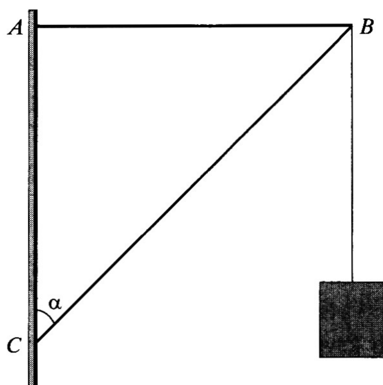


5.16 pav.

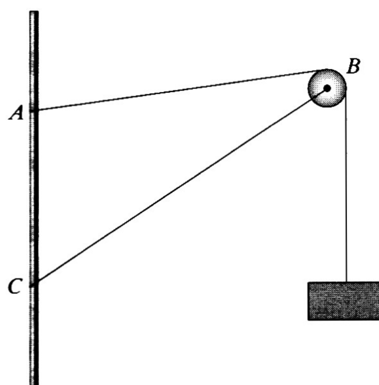


5.17 pav.

5.16. Prie stačiakampės gembės *ABC* taško *B* prikabintas 1200 N krovinys (5.18 pav.). Apskaičiuokite jėgą, kuri tempia gegnės horizontaliąją dalį *AB* ir jėgą, kuri spaudžia spyrį *BC*, jei pastarasis su statmeniu sudaro kampą $\alpha = 45°$? (Pačios gembės svorio nepaisykite.)



5.18 pav.

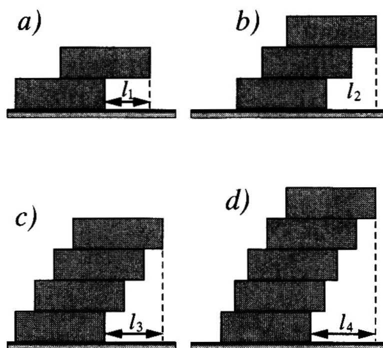


5.19 pav.

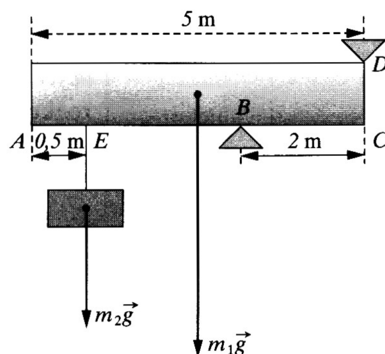
5.17.* Bokštinis keliamasis kranas kelia 600 kg masės krovinį (5.19 pav). Kokio didumo jėgos veikia krano strėlę *BC* ir grandinę *AB* tuo momentu, kai $AB = 4$ m, $AC = 2$ m ir $BC = 5$ m? Į strėlės ir grandinės svorį, taip pat į skridinio matmenis nekreipkite dėmesio.

5.18.* Plytas deda viena ant kitos be rišamosios medžiagos taip, kad kuo didesnė viršutinės plytos dalis išsikištų virš žemiau esančios. Plytos ilgis lygus l. Kiek daugiausiai gali išsikišti viršutinės plytos galas virš žemiausiai esančios plytos galo, jei turima tiek plytų, kiek parodyta 5.20 paveiksle?

5.19.* Vienalytę siją, kurios masė $m_1 = 500$ kg ir ilgis $l = 5$ m, laiko horizontalioje padėtyje atramos *B* ir *D* (5.21 pav.). Atstumas tarp jų lygus 2 m. Taške *E*, nutolusiame 0,5 m nuo sijos galo *A*, pakabintas krovinys, kurio masė $m_2 = 250$ kg. Raskite atoveikio jėgų atramos taškuose *B* ir *D* didumą bei kryptį, jei $AE = 0{,}50$ m.



5.20 pav.



5.21 pav.

6. Tvermės dėsniai mechanikoje

Judesio kiekis ir jo tvermės dėsnis

$\vec{p} = m\vec{v}.$

Judesio kiekiu vadinama kūno masės ir jo greičio sandauga: $[p] = \text{kg m/s}$.

Tai judantį kūną apibūdinantis vektorinis dydis, kurio kryptis sutampa su kūno greičio kryptimi. Judesio kiekio pokytis lygus jį sukėlusios jėgos impulsui.

$m\vec{v} - m\vec{v}_0 = \vec{F}\Delta t,$

$m\Delta\vec{v} = \vec{F}\Delta t.$

Sąveikaujant uždaros sistemos kūnams, jų greičiai ir judesio kiekiai keičiasi, bet visuminis visų bet kaip sąveikaujančių uždaros sistemos kūnų judesio kiekis nepakinta:

$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'.$

Reaktyviuoju vadinamas variklis, kurio trauką sukelia ištekanti skysčių ar dujų srovė (raketos, reaktyvieji lėktuvai, kosminiai laivai).

$M\vec{v}_a = -m\vec{v}_d,$

$\vec{v}_a = \frac{m}{M}\vec{v}_d.$

Darbas
Galia

Darbas, kurį atlieka pastovi jėga, lygus jėgos ir poslinkio moduliui bei kampo α tarp jėgos $\vec{F}$ ir poslinkio $\vec{s}$ vektorių kosinuso sandaugai:

$A = |\vec{F}||\vec{s}|\cos\alpha,$

$[A] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{J}.$

Galia – fizikinis dydis, lygus darbo ir laiko, per kurį tas darbas atliktas, santykiui:

$N = \frac{A}{t}, \quad N = F \cdot v,$

$[N] = \text{J/s} = \text{W},$

$A = N \cdot t.$

Darbas, kurį atlieka 1 kW galios mašina per 1 h, vadinamas kilovatvalande:

$[A] = 1\ \text{kWh} = 36 \cdot 10^5\ \text{W} \cdot \text{s},$

$[A] = 1\ \text{kWh} = 36 \cdot 10^5\ \text{J}.$

Energija lygi didžiausiam darbui, kurį gali atlikti kūnas esamomis sąlygomis			
Potencinė energija	**Kinetinė energija**	**Energijos tvermės dėsnis**	**Naudingumo koeficientas**
Mechaninės energijos rūšis, kurios kūnai turi dėl kelių kūnų tarpusavio padėties kitimo arba to paties kūno atskirų dalių kitimo, vadinama potencine energija: $W_p = mgh$. Sunkio jėgos atliktas darbas lygus kūno potencinės energijos pokyčiui su priešingu ženklu: $A = -(mgh_2 - mgh_1)$, $A = -(W_{p2} - W_{p1}) = -\Delta W_p$. Tamprumo jėgos veikiamo kūno potencinė energija $W_p = \frac{k\Delta x^2}{2}$. Kadangi potencinė energija proporcinga deformacijos kvadratui, tai ji nepriklauso nuo deformacijos ženklo (tempimo ar suspaudimo). Tampriai deformuoto kūno potencinės energijos pokytis lygus darbui, kurį atlieka tamprumo jėga kūnui pereinant į nulinės deformacijos būseną: $A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right)$, $A = -(W_{p2} - W_{p1}) = -\Delta W_p$. Darbo fizikinė prasmė: mechaninis darbas yra sistemos mechaninės energijos kitimo matas.	Mechaninės energijos rūšis, kurios turi judantis kūnas, vadinama to kūno slenkamojo judėjimo kinetine energija: $W_k = \frac{mv^2}{2}$. Greičiu v_0 judančio m masės kūno kinetinė energija lygi darbui, kurį turi atlikti kūną veikianti jėga, kad šis kūnas įgautų greitį v: $A = W_{k2} - W_{k1} = \Delta W_k$, $A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Jeigu kinetinę energiją įgyja judanti terpė, galima apskaičiuoti terpės tūrio vienetui tenkančią energiją, arba vidutinį energijos tankį: $\bar{\omega}_e = \frac{W_k}{V} = \frac{\rho v^2}{2}$, čia W_k – judančios terpės kinetinė energija, V – terpės tūris, $[W_e] = \mathrm{J/m^3}$. Energija, kuri yra pernešama per greičiui statmeną plotą per laiko vienetą, vadinama vidutiniu energijos srautu: $\bar{\Phi}_e = \frac{W_k}{t}$, $[\bar{\Phi}_e] = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}} = \mathrm{W}$. Energijos srauto tankis $J_e = \frac{\Phi_e}{S} = \frac{W_k}{S \cdot t}$, $[J_e] = \mathrm{W/m^2}$.	$W_{k1} + W_{p1} = W_{k2} + W_{p2}$. Uždaros sistemos kūnų, veikiančių vienas kitą gravitacijos ir tamprumo jėgomis, kinetinės ir potencinės energijos suma nekinta. Kūnų kinetinės ir potencinės energijos suma vadinama visumine mechanine energija: $W = W_k + W_p$. Uždaros sistemos kūnų, veikiančių vienas kitą gravitacijos ir tamprumo jėgomis, visuminė mechaninė energija nekinta. Išvada Mechaninis darbas yra sistemos mechaninės energijos kitimo matas.	$\eta = \frac{A_n}{A_v} \cdot 100\ \%$; čia A_n – naudingas darbas, A_v – visas darbas. Mašinos arba variklio naudingumo koeficientu vadinamas naudingo ir viso atlikto darbo santykis, išreikštas procentais.

6.1 pavyzdys

Vėjo greitis – 5 m/s. Oro tankis – 1,29 kg/m^3. Apskaičiuokite, kiek kartų taip judančio 0,1 km^3 tūrio oro judesio kiekis yra didesnis už 7,2 · 10^5 kg masės traukinio, judančio 108 km/h greičiu, judesio kiekį.

$v_1 = 5$ m/s
$\rho = 1{,}29$ kg/m^3
$V = 0{,}1$ km^3 $= 10^8$ m^3
$v_2 = 108\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 30\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$m_2 = 7{,}2 \cdot 10^5$ kg

$\frac{p_1}{p_2} = ?$

Sprendimas

Oro judesio kiekį užrašome lygtimi $p_1 = m_1v_1$ (**1**). Žinodami, kad oro masė lygi jo tūrio ir tankio sandaugai, **1** lygtį perrašome taip: $p_1 = m_1\rho V$ (**2**).

Traukinio judesio kiekis apibūdinamas lygtimi $p_2 = m_2v_2$ (**3**). Ieškomam judesio kiekių santykiui apskaičiuoti **2** lygtį dalijame iš **3** lygties: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{\rho V v_1}{m_2 v_2}$.

Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname rezultatą:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1{,}29\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 10^8\,\text{m}^3\cdot 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{7{,}2\cdot 10^5\,\text{kg}\cdot 30\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 30.$$

Atsakymas. Traukinio judesio kiekis yra apytiksliai 30 kartų mažesnis už oro judesio kiekį.

6.2 pavyzdys

0,2 kg masės kūnas pradeda kristi iš 1 m aukščio 8 m/s^2 pagreičiu. Kiek pakinta šio kūno judesio kiekis?

$m = 0{,}2$ kg
$h = 1$ m
$a = 8$ m/s^2

Δp – ?

Sprendimas

Kūnas krinta pagreičiu a, mažesniu už laisvojo kritimo pagreitį g. Vadinasi, jį turi veikti išorinė jėga, lėtinanti judėjimą. Tokia yra oro pasipriešinimo jėga. Šiuo atveju kūno judesio kiekio tvermės dėsnis negalioja, todėl judesio kiekio pokytį užrašome taip: $\Delta p = mv - mv_0 = m(v - v_0)$ (**1**).

Kūnas pradeda kristi iš rimties būsenos, todėl jo pradinis greitis $v_0 = 0$, o galutinis greitis apskaičiuojamas pagal formulę $v = \sqrt{2ah}$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1** lygtį, gauname: $\Delta p = m\sqrt{2ah}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame:

$$\Delta p = 0{,}2\,\text{kg}\sqrt{2\cdot 8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 1\,\text{m}} = 0{,}8\,\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{s}}.$$

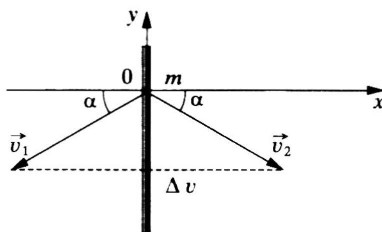
Atsakymas. Kūno judesio kiekio pokytis lygus 0,8 kg · m/s.

6.3 pavyzdys

$5 \cdot 10^{-26}$ kg masės molekulė, lekianti 500 m/s² greičiu, atsimuša į indo sienelę kryptimi, sudarančia 30° kampą su statmeniu, ir atšoka tokiu pat kampu ir tokio pat modulio greičiu. Kokį jėgos impulsą gauna sienelė (6.1 pav.)?

$m = 5 \cdot 10^{-26}$ kg
$v_1 = v_2 = v = 500$ m/s
$\alpha = 30° \approx 0{,}52$ rad

$F \cdot \Delta t$ – ?



6.1 pav.

Sprendimas

Nukreipiame x ašį statmenai sienelei, o y ašį – vertikaliai aukštyn (6.1 pav.). Užrašome vektorinę jėgos impulso lygtį $\vec{F} \cdot \Delta t = m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$ ir ją perrašome projekcijomis x ir y ašyse:

$(F \cdot \Delta t)_x = m(v_{2x} - v_{1x})$,

$(F \cdot \Delta t)_y = m(v_{2y} - v_{1y})$.

Kadangi $v_{1x} = -v_1 \cos\alpha = -v \cos\alpha$; $v_{2x} = v_2 \cos\alpha = v \cos\alpha$; $v_{1y} = v \sin\alpha$; $v_{2y} = -v \sin\alpha$, tai

$(F \cdot \Delta t)_x = m(v \cos\alpha + v \cos\alpha) = 2mv \cdot \cos\alpha$,

$(F \cdot \Delta t)_y = m(-v \sin\alpha + v \sin\alpha) = 0$.

Jėgos impulso modulis lygus $F \cdot \Delta t = \sqrt{(F\Delta t)_x^2 + (F\Delta t)_y^2}$, o, įrašę $(F\Delta t)_x$ ir $(F\Delta t)_y$ išraiškas, gauname:

$F \cdot \Delta t = \sqrt{(2\,mv\cos\alpha)^2} = 2\,mv\cos\alpha$. Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį: $F \cdot \Delta t = 2 \cdot 5 \cdot 10^{-26}\,\text{kg} \cdot 500\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0{,}87 = 4{,}35 \cdot 10^{-23}\,\text{N} \cdot \text{s}$.

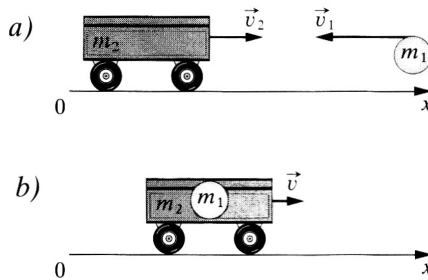
Atsakymas. Sienelė gauna jėgos impulsą, lygų $4{,}35 \cdot 10^{-23}$ N · s.

6.4 pavyzdys

100 kg masės sviedinys, lekiantis horizontaliai išilgai geležinkelio bėgių 500 m/s greičiu, pataiko į vagoną su smėliu ir įstringa jame. Kokiu greičiu tada pradeda riedėti vagonas, kurio masė lygi 10 t, jeigu prieš tai jis riedėjo 36 km/h greičiu priešpriešiais sviediniui?

$m_1 = 100$ kg
$v_1 = 500$ m/s
$m_2 = 10$ t $= 10^4$ kg
$v_2 = 36\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

v – ?



6.2 pav.

Sprendimas

Netampriam sviedinio ir vagono su smėliu (6.2 pav.) susidūrimui užrašome judesio kiekio tvermės dėsnio lygtį: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = (m_1 + m_2)\vec{v}$ (**1**).

x ašį nukreipiame vagono judėjimo kryptimi ir **1** lygtį perrašome skaliarine forma (į x ašį suprojektuojame **1** lygties vektorius): $m_2v_2 - m_1v_1 = (m_1 + m_2)v$. Iš pastarosios lygties išreiškiame vagono greitį, kai į jį pataiko sviedinys. Po to, įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame rezultatą: $v = \frac{m_2v_2 - m_1v_1}{m_1 + m_2}$;

$$v = \frac{10^4\,\text{kg} \cdot 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 100\,\text{kg} \cdot 500\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{10^4\,\text{kg} + 100\,\text{kg}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Vagonas su smėliu juda x ašies kryptimi 5 m/s greičiu.

6.5 pavyzdys

Granata, lėkusi 15 m/s greičiu, suskilo į dvi skeveldras, kurių masės 6 kg ir 14 kg. Didesniosios skeveldros greitis padidėjo iki 24 m/s ir liko tos pačios krypties. Kokiu greičiu ir kokia kryptimi nulėkė antroji skeveldra?

$v = 15$ m/s
$v_2 = 24$ m/s
$m_1 = 6$ kg
$m_2 = 14$ kg

v_1 – ?

Sprendimas

Nukreipiame x ašį granatos judėjimo kryptimi ir judesio kiekio tvermės dėsnio lygtį užrašome skaliarine forma (projekcijomis x ašyje): $(m_1 + m_2)v = m_1v_1 + m_2v_2$ (**1**); čia $(m_1 + m_2)$ – visos granatos masė. Iš **1** lygties išreiškiame v_1:

$$v_1 = \frac{(m_1 + m_2)v - m_2v_2}{m_1};$$

$$v_1 = \frac{(6\,\text{kg} + 14\,\text{kg})\,15\,\frac{\text{m}}{\text{s}} - 14\,\text{kg} \cdot 24\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{6\,\text{kg}} = -6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Minuso ženklas rodo, kad mažesnioji skeveldra nulekia į priešingą pusę (negu lėkė granata) 6 m/s greičiu.

6.6 pavyzdys

24 g masės kulka, lekianti 400 m/s greičiu, pataiko į pylimą ir, nuėjusi jame 0,5 m, įstringa. Kokia jėga pylimo gruntas priešinasi kulkos judėjimui?

$v_0 = 400$ m/s
$s = 0{,}5$ m
$m = 24 \text{ g} = 24 \cdot 10^{-3}$ kg

F – ?



6.3 pav.

Sprendimas

Nukreipiame x ašį kulkos judėjimo linkme (6.3 pav.). Kadangi kampas α tarp stabdymo jėgos ir kulkos judėjimo krypties lygus 180° ($\alpha = 180°$), tai cos 180° = –1 ir $A = Fs$ (**1**).

Antra vertus, $A = W_k - W_{k0}$ (**2**). Šiuo atveju $W_k = 0$ (nes kulka sustojo), o $W_{k0} = \frac{mv_0^2}{2}$ (**3**). Įrašome **1** ir **3** išraiškas į **2** lygtį: $-Fs = -\frac{mv_0^2}{2}$; iš čia $F = \frac{mv_0^2}{2s}$.

Įrašome dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame ieškomos jėgos didumą:

$$F = \frac{24 \cdot 10^{-3}\,\text{kg}\left(400\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0{,}5\,\text{m}} \approx 3{,}8 \cdot 10^3 \approx 3{,}8\,\text{kN}.$$

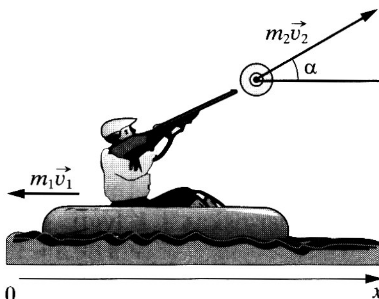
Atsakymas. Grunto pasipriešinimo jėga lygi 3,8 kN.

6.7* pavyzdys

Medžiotojas iššauna sėdėdamas lengvoje pripučiamoje valtelėje, kuri tuo momentu nejuda. Kokį greitį įgyja valtelė šūvio metu, jeigu medžiotojo ir valtelės masė 70 kg, šratų masė 35 g, pradinis šratų greitis 320 m/s, o šautuvo vamzdis šaunant nukreiptas 60° kampu į horizontą (6.4 pav.)? Vandens pasipriešinimo nepaisoma.

$v_1 = v_2 = 0$
$m_1 = 70$ kg
$m_2 = 35 \text{ g} = 0{,}035$ kg
$v_2' = 320$ m/s
$\alpha = 60°$

v_1' – ?



6.4 pav.

Sprendimas

x ašį nukreipiame horizontaliai. Prieš iššaunant judesių kiekių projekcijų suma lygi nuliui (sistema nejuda). Po šūvio valtelės su žmogumi judesio kiekio projekcija yra $m_1v'_{1x} = m_1v'$, o šratų judesio kiekio projekcija $m_2v'_{2x} = m_2v\cos\alpha$. Taikydami judesio kiekio tvermės dėsnį, sudarome šių projekcijų lygtį:

$0 = m_1v'_{1x} = m_2v'_{2x}$, arba $0 = m_1v'_1 + m_2v'_2\cos\alpha$.

Iš čia $v'_1 = -\dfrac{m_2v'_2\cos\alpha}{m_1}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, atliekame skaičiavimus:

$$v'_1 = -\frac{0{,}035\,\text{kg}\cdot 320\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}\cdot 0{,}5}{70\,\text{kg}} = -0{,}08\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Minuso ženklas parodo, kad valtelės su žmogumi greičio kryptis yra priešinga pasirinktajai x ašies krypčiai.

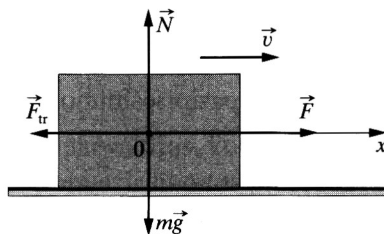
Atsakymas. Po šūvio valtelė judėjo 0,08 m/s greičiu.

6.8* pavyzdys

600 t masės traukinys, kol nuvažiuoja nuo stoties 2,5 km, įgyja 60 km/h greitį. Kokia yra lokomotyvo vidutinė galia, jeigu trinties koeficientas lygus 0,005?

m = 600 t = $6\cdot 10^5$ kg
s = 2,5 km = $2{,}5\cdot 10^3$ m
$v = 60\dfrac{\text{km}}{\text{h}} \approx 16{,}7\dfrac{\text{m}}{\text{s}}$
μ = 0,005 = $5\cdot 10^{-3}$

N_{vid} – ?



6.5 pav.

Sprendimas

x ašį nukreipiame traukinio judėjimo kryptimi. Traukinį veikia: sunkio jėga, lygi $m\vec{g}$, bėgių reakcijos jėga $\vec{N}$, traukos jėga $\vec{F}$, trinties jėga $\vec{F}_{tr}$ (6.5 pav.). Žinome, kad kinetinės energijos pokytis yra lygus išorinių jėgų darbui, taigi $\Delta W = A$, arba $W_k - W_{k0} = A_1 + A_2$ (**1**); čia $W_k = \dfrac{mv^2}{2}$; $W_{k0} = 0$, $A_1 = Fs$ – traukos jėgos darbas, $A_2 = -F_{tr}s$ – trinties jėgos darbas.

Važiuojant horizontaliu paviršiumi, trinties jėga užrašoma lygtimi $F_{tr} = \mu mg$. Įrašę W_k, W_{k0}, A_1 ir A_2 išraiškas į **1** lygtį, gauname: $\dfrac{mv^2}{2} = Fs - \mu mgs$. Taigi traukos jėga $F = \dfrac{mv^2}{2s} + \mu mg = m\left(\dfrac{v^2}{2s} + \mu g\right)$ (**2**). Tolygiai kintamo judėjimo vidutinis greitis

$v_{vid} = \frac{v + v_0}{2} = \frac{v}{2}$, nes $v_0 = 0$, o vidutinė galia $N_{vid} = F \cdot v_{vid}$ (**3**). **2** lygtį ir v_{vid} išraišką

įrašę į **3** lygtį, gauname: $N_{vid} = \frac{mv}{2}\left(\frac{v^2}{2s} + \mu g\right)$;

$$N_{vid} = \frac{6 \cdot 10^5\ \text{kg} \cdot 16{,}7\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2}\left(\frac{\left(16{,}7\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^3\ \text{m}} + 5 \cdot 10^{-3} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \approx 4{,}2 \cdot 10^5\ \text{W} \approx 420\ \text{kW}.$$

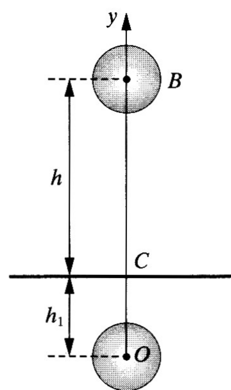
Atsakymas. Lokomotyvo vidutinė galia lygi 420 kW.

6.9* pavyzdys

2 kg masės svarstis, nukritęs iš 5 m aukščio ant minkšto grunto, įsmigo 5 cm. Raskite vidutinę grunto pasipriešinimo jėgą.

$m = 2$ kg	$g = 9{,}8$ m/s^2
$h = 5$ m	
$h_1 = 5$ cm $= 0{,}05$ m	

F_{vid} – ?



6.6 pav.

Sprendimas

y ašį nukreipiame vertikaliai aukštyn, o jos pradžią pasirenkame gylyje h_1 nuo žemės paviršiaus (6.6 pav.). Atkarpoje CO veikia išorinė jėga (grunto pasipriešinimas), todėl $\Delta W = A$, arba $W_k - W_{k0} = A$ (**1**); čia $W_{k0} = \frac{mv^2}{2} + mgh_1$ – pilnutinė mechaninė energija žemės paviršiuje; v – svarsčio greitis prie žemės paviršiaus; W_k – pilnutinė svarsčio mechaninė energija gylyje h_1. Taške O (galiniame kūno padėties taške) $v = 0$, todėl $W_k = 0$.

Išorinių jėgų darbas kelyje CO lygus $A = -F_{vid} h_1$. Įrašę W_{k0}, W_k ir A išraiškas į 1 lygtį, gauname: $0 - \left(\frac{mv^2}{2} + mgh_1\right) = -F_{vid} h_1$. Iš čia $F_{vid} = m\left(\frac{v^2}{2h_1} + g\right)$ (**2**).

Greičiui v rasti pasinaudojame mechaninės energijos tvermės dėsniu. Pritaikome jį ruožui BC, kuriame išorinės jėgos neveikia: $mg(h + h_1) = \frac{mv^2}{2} + mgh_1$, iš čia $v = \sqrt{2gh}$ (**3**).

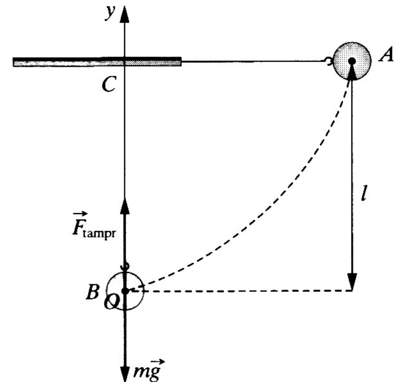
Įrašę **3** lygtį į **2** lygtį, randame F_{vid}: $F_{vid} = mg\left(\frac{h}{h_1} + 1\right)$;

$$F_{vid} = 2\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\left(\frac{5\ \text{m}}{0{,}05\ \text{m}} + 1\right) = 1979{,}6\ \text{N} \approx 1{,}98\ \text{kN}.$$

Atsakymas. Vidutinė grunto pasipriešinimo jėga lygi 1,98 kN.

6.10* pavyzdys

m masės rutulys, kabantis ant *l* ilgio siūlo, nukreipiamas nuo vertikalios padėties 90° kampu ir paleidžiamas. Kokia bus didžiausia siūlo įtempimo (tamprumo) jėga?



6.7 pav.

m
l
$\alpha = 90° \approx 1{,}57$ rad

F_{tamp} – ?

Sprendimas

Labiausiai įtemptas siūlas bus rutuliui pereinant pro tašką *B* (pusiausvyros padėtį). Taške *B* rutulį veikia: sunkio jėga $m\vec{g}$ ir maksimali siūlo tamprumo jėga $\vec{F}_{tampr}$ (6.7 pav.). Rutulio judėjimui pritaikome antrojo Niutono dėsnio skaliarinę lygtį, suprojektavę vektorius į *y* ašį:

$F_{max} - mg = ma_y$ (**1**); čia $a_y = \frac{v^2}{R}$; o $R = l$. Įrašę šias išraiškas į **1** lygtį, gauname: $F_{tampr} - mg = \frac{mv^2}{l}$. Matematiškai pertvarkę pastarąją lygtį, gauname maksimalią tamprumo jėgos vertę $F_{tampr} = mg + \frac{mv^2}{l}$ (**2**).

Rutulio greičiui taške *B* rasti taikome energijos tvermės dėsnį. Vadinasi, rutulio potencinė energija taške *A* yra lygi jo kinetinei energijai taške *B*: $W_A = W_B$ (**3**); čia $W_A = mgl$, $W_B = \frac{mv^2}{2}$. Taigi $mgl = \frac{mv^2}{2}$, iš čia $v^2 = 2gl$. Įrašę šią išraišką į **2** lygtį, gauname: $F_{tampr} = mg + \frac{m2gl}{l} = 3mg$.

Atsakymas. Didžiausia siūlo įtempimo (tamprumo) jėga rutuliui pereinant pusiausvyros padėtį lygi trigubai sunkio jėgai.

6.11* pavyzdys

12 t masės palydovas, besisukantis apie Žemę apskritimine orbita, turi 54 GJ kinetinę energiją. Kokiu greičiu ir kokiame aukštyje sukasi palydovas?

$m = 12$ t $= 12 \cdot 10^3$ kg
$W_k = 54$ GJ $= 54 \cdot 10^9$ J

v – ? h – ?

Sprendimas

Palydovo kinetinė energija $W_k = \frac{mv^2}{2}$;

iš čia $v^2 = \frac{2W_k}{m}$ arba $v = \sqrt{\frac{2W_k}{m}}$ (**1**).

Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame palydovo greitį: $v = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 54 \cdot 10^9\,\text{J}}{12 \cdot 10^3\,\text{kg}}} = 3 \cdot 10^3\,\text{m/s} = 3\,\text{km/s}$. Palydovo orbitos aukštis ir jo greitis susiję tokia priklausomybe: $v^2 = \dfrac{gR^2}{(R+h)}$ (**2**). Matome, kad **1** ir **2** lygčių dešiniosios pusės yra lygios, todėl ir jų kairiosios pusės lygios: $\dfrac{2W_k}{m} = \dfrac{gR^2}{(R+h)}$. Iš čia $h = mg\dfrac{R^2}{2W_k} - R = R\left(\dfrac{mgR}{2W_k} - 1\right)$. Įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame, kokiame aukštyje virš Žemės sukasi palydovas:

$$h = 6{,}37 \cdot 10^6\,\text{m}\left(\frac{12 \cdot 10^3\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6{,}37 \cdot 10^6\,\text{m}}{2 \cdot 54 \cdot 10^9\,\text{J}} - 1\right) \approx 3{,}8 \cdot 10^7\,\text{m} \approx 3{,}8 \cdot 10^4\,\text{km}.$$

Atsakymas. Palydovas sukasi $3 \cdot 10^3$ m/s **greičiu** $3{,}8 \cdot 10^4$ km aukštyje virš Žemės.

6.12* pavyzdys

Lietuvos ploto vienetui tenkantis metinis Saulės energijos balansas (kritusi spinduliuotės energija minus atspindėta ir perspinduliuota energija) yra 1550 MJ/m^2. Raskite, kiek Saulės energijos per metus gauna Lietuvos teritorija ir kokia yra energijos balanso galia. Lietuvos plotas $65{,}2 \cdot 10^3$ km^2.

$\Phi_E = 1550\,\dfrac{\text{MJ}}{\text{m}^2} = 1{,}55 \cdot 10^9\,\dfrac{\text{J}}{\text{m}^2}$

$S = 65{,}2 \cdot 10^3\ \text{km}^2 = 6{,}52 \cdot 10^{10}\ \text{m}^2$

$T = 365$ paros $= 3{,}15 \cdot 10^7$ s

$W - ?\quad N - ?$

Sprendimas

Energijos kiekiui, gaunamam iš Saulės Lietuvos teritorijoje per metus, apskaičiuoti reikia metinį energijos balansą, t. y. energijos srautą, padauginti iš teritorijos ploto: $W = \Phi_E S$. Įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame:

$$W = 1{,}55 \cdot 10^9\,\frac{\text{J}}{\text{m}^2} \cdot 6{,}52 \cdot 10^{10}\,\text{m}^2 \approx 10^{20}\,\text{J} \approx 10^{17}\,\text{kJ}.$$

Šią energijos vertę padaliję iš laiko, gauname: $N = \dfrac{W}{t}$. Įrašome fizikinių dydžių vertes: $N = \dfrac{10^{20}\,\text{J}}{3{,}15 \cdot 10^7\,\text{s}} = 3{,}2 \cdot 10^{12}\,\text{W} = 3{,}2 \cdot 10^9\,\text{kW}.$

Atsakymas. Lietuvos teritorijai per metus iš Saulės tenka apytiksliai 10^{17} kJ energijos, o šios energijos balanso galia lygi $3{,}2 \cdot 10^9$ kW. Saulės energija palaiko litosferos, hidrosferos bei atmosferos šiluminį balansą ir yra sunaudojama vandens apytakai palaikyti ir fotosintezei vykdyti.

6.13* pavyzdys

Visų Žemės upių nuotėkių į jūrą masė lygi $3{,}7 \cdot 10^{16}$ kg. Žinodami, kad šio vandens aukštis virš jūros lygio yra 330 m, apskaičiuokite nuotėkių vandens potencinę energiją ir galią per metus.

$m = 3{,}7 \cdot 10^{16}$ kg	$g = 9{,}8$ m/s^2
$h = 330$ m	
$t = 365$ paros $= 3{,}15 \cdot 10^7$ s	

$W_p - ?$ $N - ?$

Sprendimas

Upių vandens metinių nuotėkių potencinė energija $W_p = mgh$. Įrašę skaitines vertes, apskaičiuojame:

$$W_p = 3{,}7 \cdot 10^{16}\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 330\,\text{m} = 11\,965{,}8 \cdot 10^{16}\,\text{J} \approx 1{,}2 \cdot 10^{20}\,\text{J} \approx 1{,}2 \cdot 10^{17}\,\text{kJ}.$$

Galia lygi $N = \frac{A}{t}$. Įrašę skaitines vertes, gauname:

$$N = \frac{1{,}2 \cdot 10^{20}\,\text{J}}{3{,}15 \cdot 10^7\,\text{s}} \approx 3{,}8 \cdot 10^{12}\,\text{W} \approx 3{,}8 \cdot 10^9\,\text{kW}.$$

Atsakymas. Upių vandens nuotėkių metinė potencinė energija lygi $1{,}2 \cdot 10^{17}$ J, o galia – $3{,}8 \cdot 10^9$ kW.

6.14* pavyzdys

Nemuno žemupyje (iki išsišakojimo deltoje) vidutinis daugiametis vandens debitas yra 665 m^3/s. Tarkime, kad vidutinis Nemuno baseino vandens aukštis – 70 m. Raskite šio vandens galią ir metinę energiją.

$V_t = 665$ m^3/s	$\rho = 10^3$ kg/m^3
$h = 30$ m	
$t = 365$ paros $= 3{,}15 \cdot 10^7$ s	$g = 9{,}8$ m/s^2

$N - ?$ $W - ?$

Sprendimas

Šiame uždavinyje galią suprantame kaip vandens masės potencinės energijos pokytį per sekundę, t. y. $N = \frac{mgh}{t} = \frac{\rho V_t gh}{t} = \rho V_t gh$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame N: $N = 10^3\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 665\,\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 30\,\text{m} \approx 4{,}6 \cdot 10^8\,\text{W} = 460\,\text{MW}.$

Žinant Nemuno vandens galią, galima rasti jo metinę energiją:
$W = N \cdot t$. $W = 4{,}6 \cdot 10^8\,\text{W} \cdot 3{,}15 \cdot 10^7\,\text{s} = 1{,}4 \cdot 10^{16}\text{J} = 1{,}4 \cdot 10^7$ GJ.

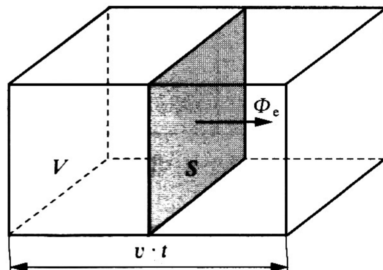
Atsakymas. Nemuno vandens galia lygi 460 MW, o metinė energija – $1{,}4 \cdot 10^7$ GJ.

6.15* pavyzdys

6.8 pavyzdyje apskaičiavome 5 m/s greičiu pučiančio vėjo judesio kiekį, kai oro tūris yra 0,1 km³, o tankis – 1,29 kg/m³. Apskaičiuokite šios oro masės kinetinę energiją, jos vidutinį tankį ir energijos srauto tankį (ploto vienetui tenkantį energijos srautą).

$v = 5$ m/s
$\rho = 1{,}29$ kg/m³
$V = 0{,}1$ km³ $= 10^8$ m³

$W_k - ?$ $\bar{w}_e - ?$ $J_e - ?$



6.8 pav.

Sprendimas

Oro kinetinei energijai apskaičiuoti taikome formulę $W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho V v^2}{2}$ (**1**). Į šią formulę įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname:

$$W_k = \frac{1{,}29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^8 \text{m}^3 \left(5 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 1{,}61 \cdot 10^9 \text{J} = 1{,}61 \text{GJ}.$$

$$\bar{w}_e = \frac{W_k}{V}; \quad \bar{w}_e = \frac{1{,}61 \cdot 10^9 \text{J}}{10^8 \text{m}^3} = 16{,}1 \frac{\text{J}}{\text{m}^3}.$$

Energijos srauto tankį užrašome tokia formule: $J_e = \frac{\bar{\Phi}_e}{S} = \frac{W_k}{St}$ (**2**).

Šią lygtį pabandykime pertvarkyti kitaip. Pro plotą S per laiką t pernešama V tūryje esančio oro energija, o šį tūrį (6.8 pav.) galima išreikšti taip: $V = Svt$ (**3**). Iš **2** ir **3** lygčių gauname: $J_e = \frac{W_k v}{V} = \bar{w}_e v$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame rezultatą: $J_e = 16{,}1 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 80{,}5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

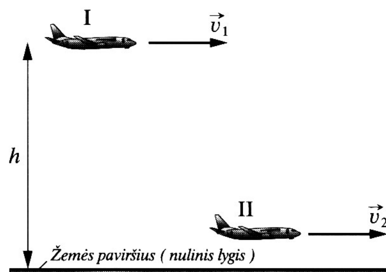
Matome, kad iš **1** lygties galima gauti tokią vidutinio energijos tankio išraišką: $\bar{w}_e = \frac{W_k}{V} = \frac{\rho v^2}{2}$. Pastarąją formulę patogu taikyti, kai žinomi terpės tankis ir jos greitis. Atkreipkite dėmesį į tai, kad šiuo atveju terpės tankis ρ laikomas pastovus.

Atsakymas. Oro kinetinė energija lygi 1,61 GJ; šios energijos vidutinis tankis – 16,1 J/m³, o energijos srauto tankis – 80,5 W/m².

6.16* pavyzdys

2 t masės lėktuvas skrenda 50 m/s greičiu. 420 m aukštyje jis pradeda leistis išjungtu varikliu ir žemę pasiekia 30 m/s greičiu (6.9 pav.). Kokį darbą atlieka oro pasipriešinimo jėga lėktuvui planiruojant?

$m = 2\ \text{t} = 2000\ \text{kg}$ $v_1 = 50\ \text{m/s}$ $v_2 = 30\ \text{m/s}$ $h = 420\ \text{m}$	$g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$
$A - ?$	



6.9 pav.

Sprendimas

Tarkime, kad lėktuvo potencinė energija lygi nuliui, kai lėktuvas nutupia ant žemės paviršiaus. Todėl žemės paviršiaus atžvilgiu apibūdiname lėktuvo mechaninę energiją. Skrisdamas (I padėtis) jis turi kinetinės energijos (nes juda) ir potencinės energijos (nes skrenda virš nulinio lygio): $W_1 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh$ (**1**), o nutūpęs (II padėtis) turi tik kinetinės energijos: $W_2 = \frac{mv_2^2}{2}$ (**2**), nes $W_{p2} = 0$.

Lėktuvui pereinant iš vienos padėties į kitą, jį veikia sunkio ir oro pasipriešinimo jėgos. Oro pasipriešinimo jėgos darbas lygus visos mechaninės energijos pokyčiui: $A = W_2 - W_1$ (**3**). **1** ir **2** lygtis įrašę į **3** lygtį, gauname:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \left(\frac{mv_1^2}{2} + mgh\right) = m\left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} - gh\right).$$

Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame reiškinį:

$$A = 2\cdot 10^3\,\text{kg}\left(\frac{\left(30\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} - \frac{\left(50\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} - 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 420\,\text{m}\right) = -10^7\,\text{J} = -10^7\,\text{MJ}.$$

Atsakymas. Lėktuvui planiruojant, jį veikianti oro pasipriešinimo jėga atlieka darbą, lygų 10 MJ.

6.17* pavyzdys

Keltuvas, kildamas iš šachtos, 50 s juda pastoviu 0,10 m/s² pagreičiu. Kokia yra vidutinė jo keltuvo variklio galia tuo metu, jeigu jo naudingumo koeficientas 0,80 (naudinga laikome tą darbo dalį, kuriai atlikti vartojama mechaninė energija). Keltuvo su kroviniu masė 5000 kg.

$v_0 = 0$
$t = 50$ s
$a = 0{,}10$ m/s^2
$m = 5000$ kg
$\eta = 0{,}80$

$N - ?$

Sprendimas

Naudingumo koeficientas apibūdinamas lygtimi $\eta = \frac{N_n}{N}$, taigi $N = \frac{N_n}{\eta}$. Vidutinė naudingoji galia lygi $N_n = F \cdot v_{vid}$. Kadangi keltuvas kyla su pagreičiu, tai $F = mg + ma = m(g + a)$. Vidutinis greitis $v_{vid} = \frac{1}{2}(v + v_0) = \frac{1}{2}at$, nes $v_0 = 0$ ir $v = at$.

Vadinasi, $N_n = m(g + a)\frac{at}{2}$. Vidutinę naudingąją galią galima rasti ir pasinaudojant vidutiniu energijos kitimo greičiu: $N_n = \frac{\Delta W}{\Delta t}$: čia $\Delta W = \Delta W_k + \Delta W_p$, t. y. $\Delta W = \frac{1}{2}mv^2 + mgh = \frac{m}{2}(at)^2 + \frac{m}{2}g \cdot at^2$. Atlikę veiksmus, gauname:

$N_n = \frac{1}{2}m(g + a)at$. Apskaičiuojame vidutinę keltuvo galią: $N = \frac{m(g + a)at}{2\eta}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame N:

$$N = \frac{5000\,\text{kg}\left(9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 0{,}1\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \cdot 0{,}1\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50\,s}{2 \cdot 0{,}80} = 1{,}55 \cdot 10^5\,\text{W} \approx 1{,}6 \cdot 10^2\,\text{kW}.$$

Atsakymas. Keltuvo variklio vidutinė galia apytiksliai lygi $1{,}6 \cdot 10^2$ kW.

6.18* pavyzdys

Vanduo įteka į vandens turbiną 6 m/s greičiu, o išteka iš jos 4 m žemiau 1 m/s greičiu. Tūrinė vandens sąnauda (per laiko vienetą pratekančio pro srauto skerspjūvį vandens tūris) 20 m^3/s. Turbinos naudingumo koeficientas 90 %. Kokia yra naudinga turbinos galia?

$v_0 = 6$ m/s
$h = 4$ m
$v = 1$ m/s
$\rho = 1000$ kg/m^3
$V_t = 20$ m^3/s
$\eta = 90\ \% = 0{,}90$

$N_n - ?$

Sprendimas

Naudinga galia užrašoma formule $N_n = \eta N$ **(1)**. Visą galią randame pasinaudodami energijos kitimo greičio išraiška: $N = \frac{\Delta W}{\Delta t}$. Energijos pokytis ΔW lygus įtekančio ir ištekančio vandens energijų skirtumui: $\Delta W = \frac{mv_0^2}{2} + mgh - \frac{mv^2}{2}$.

Kadangi $m = \rho V$, tai $N = \frac{\rho V(v_0^2 + 2gh - v^2)}{2\Delta t}$; čia $\frac{V}{\Delta t} = V_t$ – tūrinė vandens sąnauda.

Įrašę N išraišką į naudingos galios formulę, gauname: $N_n = \frac{\eta\rho V_t(v_0^2 + 2gh - v^2)}{2}$.

Įrašome dydžių skaitines vertes:

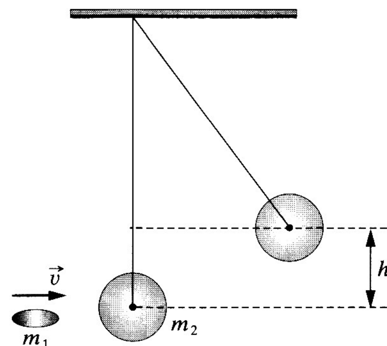
$$N_n = \frac{0{,}9 \cdot 1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 20\frac{\text{m}^3}{2}\left(36\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 2 \cdot 9{,}8\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 4\,\text{m} - 1\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right)}{2}.$$

$$N_n \approx 103 \cdot 10^4\,\text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \approx 1{,}03 \cdot 10^6\,\text{W} \approx 1\,\text{MW}.$$

Atsakymas. Naudinga turbinos galia apytiksliai lygi 1 MW.

6.19* pavyzdys

Horizontaliai lekianti 10 g masės kulka pataiko į 2 kg masės rutulį, kabantį ant siūlo ir, jį pramušusi, nulekia 400 m/s greičiu. Rutulys dėl to pakyla į 0,20 m aukštį. Koks yra atlekiančios kulkos greitis (6.10 pav.)? Kuri kulkos kinetinės energijos dalis smūgio metu virto vidine energija?



6.10 pav.

$m_1 = 10$ g $= 0{,}010$ kg $m_2 = 2$ kg $v_1 = 400$ m/s $h = 0{,}20$ m	$g \approx 10$ m/s^2

v – ? $\quad \dfrac{\Delta U}{W_k}$ – ?

Sprendimas

Žinodami rutulio pakilimo aukštį h, galime rasti jo greitį po smūgio v_2:

$m_2gh = \dfrac{m_2v_2^2}{2}$; $v_2 = \sqrt{2gh}$.

Remdamiesi judesio kiekio tvermės dėsniu, randame kulkos greitį iki smūgio v:

$m_1v = m_1v_1 + m_2v_2$, arba $v = \dfrac{m_1v_1 + m_2v_2}{m_1}$; čia m_1v – kulkos judesio kiekis iki smūgio; m_1v_1 – kulkos judesio kiekis po smūgio; m_2v_2 – rutulio judesio kiekis, gautas smūgio metu (iki smūgio rutulio judesio kiekis, pagal sąlygą, buvo lygus 0). Įrašę v_2 išraišką, gauname: $v = \dfrac{m_1v_1 + m_2\sqrt{2gh}}{m_1}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame kulkos greitį: $v = \dfrac{0{,}01\,\text{kg}\cdot 400\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}} + 2\,\text{kg}\sqrt{2\cdot 10\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2}\cdot 0{,}2\,\text{m}}}{0{,}01\,\text{kg}} = 800\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}$.

Remdamiesi energijos tvermės dėsniu, sudarome lygtį: $\dfrac{m_1v^2}{2} = \dfrac{m_1v_1^2}{2} + m_2gh + \Delta U$, čia $\Delta U = \Delta W_{\text{mech}}$ – vidinės energijos pokytis, lygus sistemos mechaninės energijos sumažėjimui. Iš jos gauname, kad $\Delta U = \dfrac{m_1v^2}{2} - \dfrac{m_1v_1^2}{2} - m_2gh$.

Žinodami kulkos kinetinę energiją iki smūgio $\dfrac{m_1v^2}{2}$ ir vidinės energijos pokytį ΔU, randame $\dfrac{\Delta U}{W_k}$: $W_k = \dfrac{0{,}01\,\text{kg}\cdot\left(800\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 3{,}2\cdot 10^3\,\text{J}$; $\quad \Delta U = 2{,}4\cdot 10^3$ J;

$\dfrac{\Delta U}{W_k} = \dfrac{2{,}4\cdot 10^3\,\text{J}}{3{,}2\cdot 10^3\,\text{J}}\cdot 100\,\% = 75\,\%$.

Atsakymas. Kulkos greitis iki smūgio buvo lygus 800 m/s, o smūgio metu 75 % kulkos energijos virto vidine energija.

6.1. Kodėl kūjo smūgis į sunkų priekalą, padėtą cirko artistui ant krūtinės, jam visai nekenksmingas, o toks pat smūgis tiesiog į krūtinę sunkiai sužalotų?

6.2. Ar atliekamas darbas, kai: a) kūnas tolygiai juda, veikiamas statmenos judėjimo krypčiai jėgos; b) kai kūnas juda iš inercijos; c) kai juda veikiamas viena kitą atsveriančių jėgų? Atsakymą pagrįskite.

6.3. Kūnas nueina atstumą s, veikiamas judėjimo kryptimi jėgos F. Ar vienodą darbą atlieka ta jėga, kai kūnas juda tolygiai ir kai – greitėjančiai? Atsakymą pagrįskite.

6.4. Krovinys pakeliamas į aukštį h, paskui nustumiamas horizontaliu paviršiumi atstumu h. Kada atliekamas didesnis darbas? Kūno trinties į paviršių koeficientas lygus μ, oro pasipriešinimo nepaisykite.

6.5. Kaip reikia mesti sviedinį į grindis iš aukščio h, kad jis atšoktų į aukštį H, didesnį už h? Atsakymą pagrįskite.

6.6. 20 kg masės sviedinys, lekiantis horizontaliai 500 m/s greičiu, pataiko į 10 t masės platformą su smėliu ir įstringa. Kokį greitį dėl šios sąveikos įgyja platforma?

6.7. Kokį greitį įgis nejudanti valtis, kurios masė kartu su kroviniu lygi 200 kg, jeigu joje esantis žmogus iššaus horizontalia kryptimi? Kulkos masė 10 g, jos greitis 800 m/s.

6.8. Raketa, kurios masė be kuro yra 400 g, pakilo į 125 m aukštį sudegus 50 g kuro. Nurodykite, kokiu greičiu dujos išsiveržia iš raketos, jeigu darysime prielaidą, kad kuras sudega akimirksniu.

6.9. Du rutuliai, kurių masės 6 kg ir 4 kg, juda viena tiese 8 m/s ir 3 m/s greičiu. Kokiu greičiu jie judės po absoliučiai netampraus smūgio, jeigu: a) pirmasis rutulys pasivijo antrąjį; b) prieš sąveiką rutuliai judėjo vienas prieš kitą?

6.10. Šilumvežis, kurio masė 130 t, 2 m/s greičiu priartėja prie nejudančio 1170 t masės sąstato. Kokiu greičiu judės sąstatas, sukabintas su šilumvežiu?

6.11. Statmenai krintantis 200 g masės rutuliukas 10 m/s greičiu atsitrenkia į grindis ir pašoka į 86 cm aukštį. Nustatykite rutuliuko judesio kiekio pokytį sąveikos metu.

6.12. Du berniukai, kurių masės 35 kg ir 45 kg, stovi ant riedlenčių vienas priešais kitą. Pirmasis berniukas meta antrajam 1,5 kg masės rutulį 3 m/s greičiu Žemės atžvilgiu. Kokiu greičiu ir kuria kryptimi riedės pirmasis berniukas, išmetęs rutulį, ir kokiu greičiu – antrasis berniukas, jį pagavęs?

6.13.* 150 kg masės ir 2 m ilgio valtis stovi 0,7 m atstumu nuo kranto, atgręžta į krantą. Sėdėjęs valtyje 70 kg masės žmogus pereina iš jos priekio į galą. Ar priplauks valtis prie kranto? Trinties nepaisykite.

6.14.* Stovintis ant ledo žmogus, kurio masė 60 kg, pagauna 0,5 kg masės sviedinį, lekiantį horizontaliai 20 m/s greičiu. Kokį atstumą nuslysta žmogus su sviediniu horizontaliu ledo paviršiumi, jeigu trinties koeficientas 0,05?

6.15.* 1 kg materialusis taškas tolygiai juda apskritimu 10 m/s greičiu. Raskite judesio kiekio pokytį per ketvirtį periodo, pusę periodo ir visą periodą.

6.16. Materialiojo taško judėjimą nusako lygtis $x = 5 - 8t + 4t^2$. Taško masė lygi 2 kg. Raskite judesio kiekį po 2 s ir 4 s nuo laiko atskaitos pradžios bei tą judesio kiekį nulėmusią jėgą.

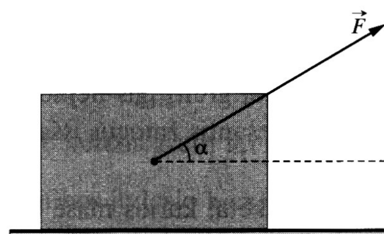
6.17. Kokį darbą per 10 min atlieka elektrovežis, traukdamas horizontaliu geležinkeliu 3000 t masės traukinį pastoviu 72 km/h greičiu. Trinties koeficientas lygus 0,005.

6.18. 100 kg masės kūnas, veikiamas pastovios jėgos, per 10 s pakyla į 15 m aukštį. Kokį darbą atlieka toji jėga? Pradinis kūno greitis lygus nuliui.

6.19. Krovinį, kurio masė 100 kg, tam tikru pagreičiu judantis keltuvas pakelia į 30 m aukštį per 20 s. Apskaičiuokite jo atliktą mechaninį darbą.

6.20. 70 kg masės žmogus leidžiasi 20 m ilgio laiptais, kurie sudaro 30° kampą su horizontalia plokštuma. Apskaičiuokite sunkio jėgos darbą.

6.21.* Dėžė, kurios masė m, tolygiai traukiama jėga F, su grindimis sudarančia kampą α (6.11 pav.). Dėžei pasislenkant atstumu s, jėga F atlieka darbą A. Trinties koeficientas μ, trinties jėga F_{tr}, stalo reakcijos jėga N. Apskaičiuokite nežinomus dydžius ir užpildykite lentelę:



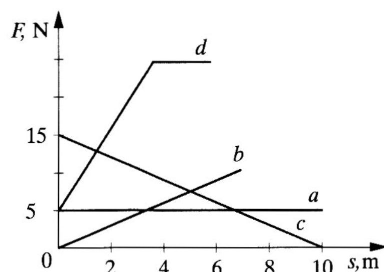
6.11 pav.

	m (kg)	μ	F_{tr} (N)	F (N)	N (N)	α (°)	s (m)	A (J)
a	40	–	–	81,2	–	30	–	140,6
b	–	–	60	90	375	–	–	90
c	–	0,2	84	120	–	–	2,5	–
d	50	0,13	–	–	–	45	4,3	–

6.22.* Dviejų vienodų matmenų tampriai ištemptų spyruoklių – geležinės ir varinės – ilgis vienodas. Kurią spyruoklę tempiant atliktas didesnis darbas? Kodėl?

6.23.* Kamuolys metamas aukštyn. Kada oro pasipriešinimo jėga atlieka didesnį darbą – kamuoliui kylant ar krintant?

6.24. 6.12 paveiksle pavaizduoti 5 kg masės kūną veikiančių jėgų priklausomybės nuo poslinkio grafikai. Apskaičiuokite darbą, kurį atlieka kiekviena kūną veikianti jėga, ir kūno įgytą greitį.

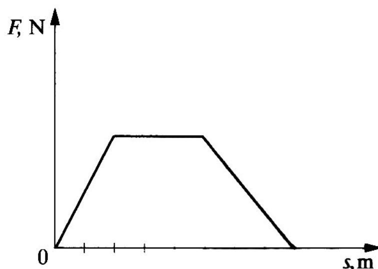


6.12 pav.

6.25. 200 N/m standumo spyruoklės deformacija pakinta nuo $x_1 = 2$ cm iki $x_2 = 6$ cm. Apskaičiuokite tamprumo jėgos darbą.

6.26. Vertikaliai pakeliant 2 kg masės kūną į 10 m aukštį, atliekamas 240 J darbas. Kokiu pagreičiu keliamas krovinys?

6.27.* Kūną išilgai judėjimo krypties veikia jėga, kintanti nuo poslinkio taip, kaip parodyta 6.13 paveiksle. Kokios rūšies judėjimą atitinka kiekviena grafiko atkarpa? Kokį darbą atlieka jėga visame kelyje?



6.13 pav.

6.28. Kokią kinetinę energiją reikia suteikti 0,50 kg masės kūnui, norint jį pakelti vertikaliai į 10 m aukštį? (Pasipriešinimo nepaisykite.)

6.29. Kūnas, mestas vertikaliai žemyn iš 75 m aukščio 10 m/s greičiu, smūgio į žemę momentu turi 1600 J kinetinę energiją. Kokia yra to kūno masė? Koks jo greitis atsitrenkimo į žemę momentu? Oro pasipriešinimo nepaisykite.

6.30.* Kokiu greičiu metalinis šratas atsitrenks į 0,92 m aukščio indo dugną? Indas pripildytas skysčio. Šrato kinetinė energija atsitrenkimo į dugną metu yra du kartus mažesnė už jo potencinę energiją skysčio paviršiuje. Paaiškinkite, kur dingo dalis šrato potencinės energijos.

6.31. 0,2 kg masės raketa iš raketos nešėjos išlekia vertikaliai aukštyn 50 m/s greičiu. Apskaičiuokite raketos kinetinę ir potencinę energiją praėjus 1 s po šūvio. Laikykite, kad raketos masė nekinta.

6.32. 2,2 m aukštyje nuo Žemės paviršiaus kamuolio greitis 10 m/s. Kokiu greičiu kamuolys judės prie Žemės paviršiaus? Oro pasipriešinimo nepaisykite, laisvojo kritimo pagreitį laikykite lygiu 10 m/s.

6.33. Kiek kinetinės energijos turi 1,5 t masės dirbtinis Žemės palydovas, judantis apskritimine orbita 300 km aukštyje virš Žemės paviršiaus? Žemės spindulys 6400 km, sunkio jėgos pagreitį Žemės paviršiuje laikykite lygiu 10 m/s^2.

6.34.* Remdamiesi energijos tvermės dėsniu, įrodykite, kad kūno, laisvai krintančio iš aukščio H pradiniu greičiu v_0, galutinis greitis išreiškiamas formule $v = \sqrt{v_0^2 + 2gH}$.

6.35.* Kasamo 8 m ir 2,5 m^2 skerspjūvio ploto šulinio vidutinis grunto tankis lygus $2 \cdot 10^3$ kg/m^3. Kokį mažiausią darbą reikia atlikti iškeliant gruntą iki žemės paviršiaus?

6.36. Kūno judesio kiekis lygus 8 kgm/s, o jo kinetinė energija 16 J. Apskaičiuokite to kūno masę ir jo judėjimo greitį.

6.37. Kokiame aukštyje 2 t masės kūno potencinė energija lygi 10 kJ?

6.38. Akmuo išmestas 10 m/s greičiu vertikaliai aukštyn. Kokiame aukštyje akmens kinetinė energija bus lygi jo potencinei energijai?

6.39. 2001 m. Ignalinos AE pagamino (t. y. branduolių energiją pavertė elektros ir šilumine energija) $4{,}1 \cdot 10^{16}$ J energijos, 2002 m. – $5{,}1 \cdot 10^{16}$ J, per 2003 m. sausio ir vasario mėnesius – $1{,}2 \cdot 10^{16}$ J energijos. Palyginkite vidutinę 2001 m., 2002 m. ir 2003 m. pradžios Ignalinos AE galią.

6.40. 8 m ilgio ir 5 m aukščio nuožulniuoju transporteriu per valandą pakeliama 144 t grūdų. Kokia transporterio variklio galia? Trinties nepaisykite.

6.41. Kauno hidroelektrinės galia 100 MW. Kiek elektros energijos ji pagamina per metus?

6.42. Kokią naudingą galią išvysto kranas, tolygiai užkeldamas 25 kN svorio krovinį į 15 m aukštį per 2,5 min?

6.43. Į kokį aukštį galima pakelti per minutę 400 m^3 vandens, jei siurblio naudingoji galia $2{,}0 \cdot 10^3$ kW?

6.44. 1200 t masės traukinys važiuoja horizontaliais bėgiais pastoviu 54 km/h greičiu. Naudinga šilumvežio traukos galia 882 kW. Apskaičiuokite pasipriešinimo judėjimui koeficientą.

6.45. Per kiek laiko kranas pakelia 5 t masės krovinį į 15 m aukštį, jei variklio galia 10 kW ir krano naudingumo koeficientas lygus 0,8?

6.46. Keliamasis kranas 2 t masės krovinį per 2 min pakelia į 24 m aukštį. Apskaičiuokite krano mechaninę galią. Trinties jėgų nepaisykite.

6.47. Lėktuvas turi keturis variklius, kurių kiekvieno traukos jėga lygi 103 kN. Kokia yra tokio lėktuvo, skrendančio 864 km/h greičiu, variklių naudingoji galia?

6.48. Krovinys iš 180 m gylio šachtos tolygiai greitėdamas pakyla per 60 s. Apskaičiuokite variklio galią, jei krovinio masė 8 t.

6.49. Automobilis važiuoja pastoviu greičiu horizontaliu keliu. Kam tada eikvojama kuro energija?

6.50.* Vertikaliai aukštyn išmestas kūnas nukrinta į tą patį lygį. Apskaičiuokite sunkio jėgos darbą visame kelyje. Kam lygus sunkio jėgos darbas kūnui judant uždaru kontūru?

6.51. Kokį darbą reikia atlikti, norint pakelti 100 g masės krovinį į 200 cm aukštį 300 m/s greičiu?

6.52.* Buvęs ramybės būsenoje *m* masės kūnas nukrito ant vertikaliai įtaisytos nesvarios spyruoklės, kurios standumas *k*. Dėl to spyruoklė sutrumpėjo dydžiu *x*. Iš kokio aukščio nukrito kūnas?

6.53.* Koks yra hidroelektrinės turbinos naudingumo koeficientas, jeigu, pratekant 700 m^3/s vandens ir esant 16 m lygių skirtumui, turbinos galia lygi 10^5 kW?

6.54.* Turbinos naudingumo koeficientas 90 %, o naudinga galia 150 MW. Kiek vandens pro ją prateka kas sekundę ir kokia yra bendra vandens srauto galia, jei lygių skirtumas 25 m?

6.55.* Turbinos naudingumo koeficientas lygus 90 %. Kokia yra jos naudinga galia, jeigu kas sekundę prateka 113 m^3 vandens, o lygių skirtumas yra 50 m?

6.56.* Iš 600 m gylio nafta siurbiama 12 kW galios siurbliu, kurio naudingumo koeficientas 80 %. Kiek naftos juo išsiurbiama per 6 h?

6.57.* Keliamasis kranas, kurio variklio galia 7 kW, o naudingumo koeficientas 85 %, kelia krovinį 5 m/min greičiu. Kokia to krovinio masė?

6.58.* Lėktuvas skrenda tiese 800 km/h greičiu. Jo variklių galia lygi 1,8 MW. Kokia yra variklių traukos jėga? Naudingumo koeficientas lygus 70 %.

6.59.* Įrenginį, tiekiantį vandenį ūkininko fermai, sudaro 6,5 kW galios elektros siurblys ir 45 m^3 talpos bakas, iškeltas į 8 m aukštį. Siurblys pripildo baką vandens per 12 min. Apskaičiuokite įrenginio naudingumo koeficientą.

7. Mechaniniai svyravimai

Sąlygos laisviesiems svyravimams vykti	1. Išvedus kūną iš pusiausvyros padėties, sistemoje turi atsirasti jėga, veikianti pusiausvyros padėties kryptimi. 2. Trintis sistemoje turi būti kiek įmanoma mažesnė.
$x = A \cos \omega t$; $x = A \cos (\omega t + \varphi_0)$.	Nuo laiko priklausantys fizikinio dydžio periodiški kitimai pagal sinuso arba kosinuso dėsnį vadinami laisvaisiais harmoniniais svyravimais.

Amplitudė A, $[A] = \text{m}$.	Periodas T, $[T] = \text{s}$.	Dažnis $f = \frac{1}{T}$, $[f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$.	Kampinis dažnis $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, $[\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$.	Fazė $\varphi = \omega t$, $[\varphi] = \text{rad}$.
Kūno didžiausias nuokrypis nuo pusiausvyros padėties.	Laiko tarpas, per kurį kūnas padaro vieną svyravimą.	Svyravimų skaičius per laiko vienetą.	Svyravimų skaičius per 2π radianų.	Fazė apibūdina tam tikra amplitude svyruojančios sistemos padėtį bet kuriuo laiko momentu.

Bet kurią laiko vertę, išmatuotą periodo dalimis, atitinka fazės vertė radianais.

Pastaba. Dažnis fizikoje gali būti žymimas dvejopai: ν arba f. Ir šiame leidinyje jį žymime skirtingai, priklausomai nuo nagrinėjamame fizikos skyriuje istoriškai susiklosčiusio dažnio žymėjimo būdo.

Laisvieji svyravimai	Priverstiniai svyravimai
Matematinė svyruoklė $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l}{g}}$; $\omega^2 = \dfrac{g}{l}$; $g = 9{,}8\ \mathrm{m/s^2}$. Svyravimai, kuriuos atlieka vidinių jėgų veikiami kūnai, vadinami laisvaisiais svyravimais. Laisvieji svyravimai yra slopinamieji svyravimai. **Spyruoklinė svyruoklė** $\vec{F}_{tampr}$, $m\vec{g}$; x, 0, t $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$; $\omega^2 = \dfrac{k}{m}$; čia m – kūno masė, k – spyruoklės standumas. $W = \dfrac{mv^2}{2} + \dfrac{kx^2}{2}$ – svyruojančio kūno pilnutinė mechaninė energija.	Svyravimai, kuriuos atlieka periodiškai besikeičiančių išorinių jėgų veikiami kūnai, vadinami priverstiniais svyravimais. Tai – neslopinamieji svyravimai. x, 0, t Priverstinių svyravimų dažnis lygus išorinės jėgos kitimo dažniui.

x_m, 0, w_0, w; 1, 2, 3

Ryškus kūno priverstinių svyravimų amplitudės padidėjimas, kai sistemą veikiančios išorinės jėgos kitimų dažnis sutampa su kūno laisvųjų svyravimų dažniu, vadinamas rezonansu: $F_{tr1} < F_{tr2} < F_{tr3}$.

7.1 pavyzdys

Materialiojo taško harmoninio svyravimo periodas 2 s, pradinis nuokrypis 6 cm, o pradinis greitis 10 cm/s. Parašykite šio svyravimo lygtį.

$T = 2$ s

$x_0 = 6$ cm $= 0{,}06$ m

$v_0 = 10\dfrac{\text{cm}}{\text{s}} = 0{,}1\dfrac{\text{m}}{\text{s}}$

$x(t) - ?$

Sprendimas

Norint parašyti harmoninio svyravimo lygtį, reikia į lygtį $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$ įrašyti amplitudės, kampinio dažnio ir pradinės fazės vertes. Taikydami kampinio dažnio formulę $\omega = \dfrac{2\pi}{T}$, gauname $\omega = \dfrac{2\pi}{2\,\text{s}} = \pi\dfrac{\text{rad}}{\text{s}}$. Iš uždavinio sąlygos išplaukia, kad $x_0 = A\cos\varphi_0$ ir $v_0 = -\,\omega A\sin\varphi_0$.

Iš čia $A = \sqrt{x_0^2 + \dfrac{v_0^2}{\omega^2}}$. Įrašę skaitines vertes, apskaičiuojame rezultatą:

$$A = \sqrt{(0{,}06\,\text{m})^2 + \frac{\left(0{,}1\dfrac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\left(3{,}14\dfrac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2}} = 0{,}0679\,\text{m}, \quad \text{o} \quad \varphi_0 = \arccos\frac{x_0}{A};$$

$$\varphi_0 = \arccos\frac{0{,}06\,\text{m}}{0{,}0679\,\text{m}} = 0{,}155\pi.$$

Dabar galime užrašyti svyravimo lygtį: $x = 0{,}0679\cos(\pi t + 0{,}155)$.

Atsakymas. Materialiojo taško harmoninio svyravimo lygtis yra tokia: $x = 0{,}0679\cos(\pi t + 0{,}155)$.

7.2 pavyzdys

Dviejų matematinių svyruoklių ilgių skirtumas 0,22 m. Jų svyravimų per tą patį laiką skaičiai atitinkamai lygūs 30 ir 40. Koks yra kiekvienos svyruoklės ilgis?

$l_1 - l_2 = \Delta l = 0{,}22$ m

$n_1 = 30$

$n_2 = 40$

$l_1 - ?\ l_2 - ?$

Sprendimas

Kadangi matematinės svyruoklės periodas proporcingas jos ilgiui, tai $\dfrac{T_1}{T_2} = \sqrt{\dfrac{l_1}{l_2}}$ **(1)**.

Žinome, kad $T = \dfrac{t}{n}$, todėl $\dfrac{T_1}{T_2} = \dfrac{n_2}{n_1}$ **(2)**. Iš **1** ir **2** lygčių gauname: $\dfrac{l_1}{l_2} = \dfrac{n_2^2}{n_1^2}$ **(3)**.

Iš uždavinio sąlygos išplaukia, kad $l_1 - l_2 = 0{,}22$ m **(4)**. Iš **3** ir **4** lygčių gauname:

$\dfrac{0{,}22\,\text{m} + l_2}{l_2} = \dfrac{(40)^2}{(30)^2}$. Išsprendę lygtį, apskaičiuojame svyruoklių ilgius: $l_2 = 0{,}28$ m, o $l_1 = 0{,}5$ m.

Atsakymas. Vienos svyruoklės ilgis 0,50 m, o kitos – 0,28 m.

7.3* pavyzdys

1 m ilgio matematinė svyruoklė pririšta prie kabinos lubų. Kabina pradeda leistis žemyn pagreičiu $a_1 = \frac{1}{4}g$, paskui, praslinkus laikui $t_1 = 3$ s, ji pradeda judėti tolygiai, ir pagaliau 3 s stabdoma, kol visiškai sustoja. Raskite: a) svyruoklės harmoninio svyravimo periodą kiekviename kelio ruože; b) svyruoklės harmoninio svyravimo periodą, kai pakabos taškas juda horizontalia kryptimi pagreičiu $a_4 = \frac{g}{4}$.

$a_1 = \frac{1}{4}g$
$t_1 = 3$ s
$v_2 = \text{const}$
$t_3 = 3$ s
$v_3 = 0$
$a_4 = \frac{1}{4}g$
$g \approx 9{,}8\ \text{m/s}^2$
$l = 1{,}0$ m

$T_1 - ?$ $T_2 - ?$
$T_3 - ?$ $T_4 - ?$

Sprendimas

Matematinės svyruoklės harmoninio svyravimo periodą randame iš formulės $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

Pakabos taškui judant tolygiai, $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.

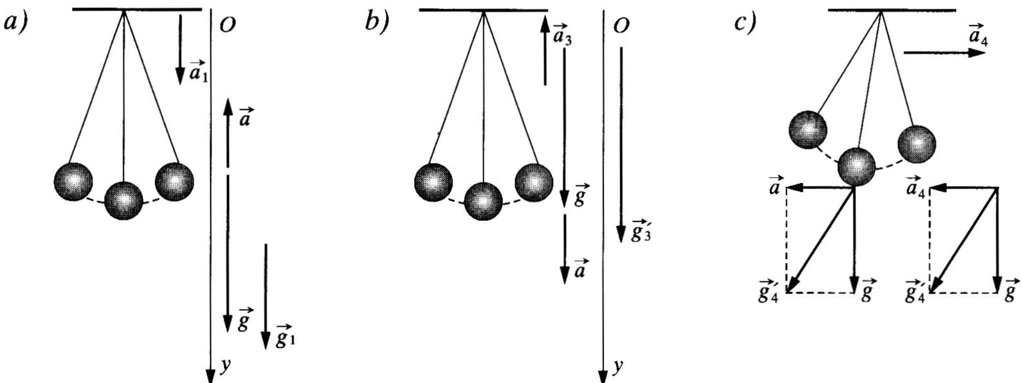
Įrašome fizikinių dydžių vertes ir gauname:

$$T_2 = 2 \cdot 3{,}14\sqrt{\frac{1\ \text{m}}{9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 2\ \text{s}.$$

Kai pakabos taško judėjimas tolygiai kintamas, svyravimo periodas $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}}$; g' – galima rasti iš sąryšio $\vec{g}' = \vec{g} + \vec{a}$. Vektoriaus $\vec{a}$ modulis lygus pakabos taško pagreičio vektoriaus moduliui, o tie vektoriai yra priešingų krypčių. Kai pakabos taškas juda žemyn su pagreičiu $\vec{a}_1$ (7.1 pav., *a*), tai skaliarinė lygties išraiška yra $g' = g - a_1$. Vadinasi, $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g - a_1}}$.

Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname:

$$T_1 = 2 \cdot 3{,}14\sqrt{\frac{1\ \text{m}}{9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - \frac{1}{4} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 2{,}3\ \text{s}.$$



7.1 pav.

Kai pakabos taškas stabdomas (7.1 pav., *b*), $g_3 = g + a_3$, o $a_3 = a_1$, (nes pakabos taškas stoja tiek pat laiko, kiek ir įsibėgėja iš ramybės būsenos). Atkreipkite dėmesį, kad sąlygoje duota, jog $t_1 = t_3 = 3$ s. Vadinasi, $T_3 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a_1}}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname: $T_3 = 2\cdot 3{,}14\sqrt{\frac{1\,\text{m}}{9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}+\frac{1}{4}\cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 1{,}8\,\text{s}$.

Horizontaliame kelio ruože (7.1 pav., *c*) $g_4' = \sqrt{a_4^2 + g^2} = \sqrt{\left(\frac{g}{4}\right)^2 + g}$, todėl ir T_4 išreiškiame lygtimi:

$$T_4 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{\sqrt{g^2+a_4^2}}};\quad T_4 = 2\cdot 3{,}14\sqrt{\frac{1\text{m}}{\sqrt{\left(9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2+\left(\frac{1}{4}\cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}}} \approx 1{,}96\,\text{s}.$$

Atsakymas. Spyruoklės svyravimo periodas pirmajame kelio ruože apytiksliai lygus 2,3 s, antrajame – 2 s, trečiajame – ≈ 1,8 s, o pakabos taškui judant horizontalia kryptimi, – ≈ 1,96 s.

7.4* pavyzdys

Kaip ir kiek kartų pakinta lifte esančios matematinės svyruoklės periodas, kai liftas pradeda judėti aukštyn pagreičiu, lygiu 0,3*g*?

$a = 0{,}3\,g$

$\frac{T}{T_0}$ – ?

Sprendimas

Liftui nejudant, matematinės svyruoklės periodas apibūdinamas lygtimi $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (**1**).

Liftui kylant pagreičiu *a*, **1** lygtyje vietoj *g* reikia įrašyti $g + a$ (nes kūnas pasunkėja – jį veikiantis kūno svoris tampa didesnis už sunkio jėgą). Todėl svyravimo periodas įgauna tokį pavidalą: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g+a}}$ (**2**). Iš **1** ir **2** lygčių randame, kiek kartų pakinta lifte esančios matematinės svyruoklės periodas: $\frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{g}{g+a}}$.

Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname: $\frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}+0{,}3\cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0{,}877$.

Atsakymas. Kylančiame lifte matematinė svyruoklė svyruoja mažesniu periodu.

7.5* pavyzdys

100 g masės rutuliukas, kabantis ant nesvarios 10 N/m standumo spyruoklės, harmoningai svyruoja 40 cm amplitude. Svyravimus laikykite neslopinamaisiais, o pradinę fazę – lygia nuliui. Raskite: a) rutuliuko poslinkį praslinkus 52,36 ms nuo svyravimo pradžios; b) visą rutuliuko svyravimo energiją ir jo kinetinę energiją tuo momentu, kai jis pereina pro pusiausvyros padėtį; c) kinetinę ir potencinę energiją praslinkus nuo svyravimo pradžios laikui, lygiam $\frac{T}{6}$.

$m = 0{,}10$ kg
$k = 10$ N/m
$\varphi_0 = 0$
$t_1 = 52{,}36$ ms $= 52{,}36 \cdot 10^{-3}$ s
$t_2 = \frac{T}{6}$
$A = 40$ cm $= 4{,}0 \cdot 10^{-2}$ m

x_1 – ? W – ? W_{k0} – ? W_{k2} – ? W_{p2} – ?

Sprendimas

a) Harmoningai svyruojančio rutuliuko poslinkį aprašome formule $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, arba $x = A\sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi_0\right)$. Kadangi $\varphi_0 = 0$ (ši prielaida daroma remiantis sąlygos duomenimis), tai

$x = A\sin\frac{2\pi}{T}t$ (**1**). Harmoninio svyravimo periodas užrašomas formule

$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ (**2**). Iš **1** ir **2** lygčių gauname: $x = A\sin\frac{2\pi}{2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}}t = A\sin\sqrt{\frac{k}{m}}\cdot t$. Ieškomas

rutuliuko poslinkis x_1 laiko momentu t_1 lygus $x_1 = A\sin\sqrt{\frac{k}{m}}\cdot t_1$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, gauname:

$$x_1 = 4\cdot 10^{-2}\,\text{m}\cdot\sin\sqrt{\frac{10\frac{\text{N}}{\text{m}}}{0{,}1\text{kg}}}\cdot 52{,}36\cdot 10^{-3}\text{s} \approx 2\cdot 10^{-2}\,\text{m} \approx 2\text{ cm}.$$

b) Pilnutinę mechaninio svyravimo energiją randame taikydami formulę $W = \frac{kA^2}{2}$. Rutuliukui pereinant pusiausvyros padėtį, jo pilnutinė mechaninė energija lygi kinetinei energijai: $W_{k0} = W = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$.

Apskaičiuojame pilnutinę rutuliuko svyravimo energiją, kuri pusiausvyros padėtyje lygi W_{k0}:

$$W = W_{k0} = \frac{10\frac{\text{N}}{\text{m}}\cdot\left(4\cdot 10^{-2}\text{m}\right)^2}{2} = 8\cdot 10^{-3}\,\text{J} = 8\text{ mJ}.$$

c) Praslinkus nuo svyravimo pradžios laikui, lygiam $\frac{T}{6}$, rutuliuko kinetinę energiją randame iš formulės $W_k = \frac{mv_0^2 \cos^2 \varphi}{2}$, kurioje $v = v_0 \cos \varphi$ – greičio momentinė reikšmė, v_0 – greičio amplitudinė reikšmė, $\varphi = \frac{2\pi}{T}t + \varphi_0$ – svyravimo fazė. Pagal sąlygą, pradinė svyravimo fazė lygi nuliui, todėl $\varphi = \frac{2\pi}{T}t$. Kadangi $\frac{mv_0^2}{2} = W$ – pilnutinė energija, tai $W_k = \frac{mv_0^2 \cos^2 \varphi}{2} = \frac{kA^2 \cos^2 \varphi}{2} = W \cos^2 \varphi$. Įrašę φ išraišką, gauname:

$W_{k2} = \frac{kA^2 \cos^2 \frac{2\pi}{T} t_2}{2} = W \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} t_2 \right)$. Vadinasi, laiko momentu $\frac{T}{6}$ rutuliuko kinetinė energija lygi: $W_{k2} = W \cos^2 \left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{6} \right) = W \cos^2 \frac{\pi}{3}$. Įrašę dydžių vertes, apskaičiuojame kinetinę energiją: $W_{k2} = 8 \cdot 10^{-3}\ \text{J} \cdot \frac{1}{4} = 2 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 2\ \text{mJ}$.

Potencinė energija momentu $t_2 = \frac{1}{6}T$ lygi $W_{p2} = \frac{kx_2^2}{2} = \frac{kA^2 \sin^2 \varphi}{2} = W \sin^2 \varphi$; čia $x_2 = A \sin \varphi$.

Šiuo atveju $W_{p2} = \frac{kA^2 \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t_2 \right)}{2} = W \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} t_2 \right) = W \sin^2 \left(\frac{2\pi}{T} \frac{1}{6} T \right) = W \sin^2 \frac{\pi}{3}$.

Įrašę reikšmes, gauname: $W_{p2} = 8 \cdot 10^{-3}\ \text{J} \cdot \sin^2 \frac{\pi}{3} = 8 \cdot 10^{-3}\ \text{J} \cdot \sin^2 60^\circ \approx 6 \cdot 10^{-3}\ \text{J}$.
Potencinę energiją galima rasti ir kitu būdu – taikant energijos tvermės dėsnį: $W_{p2} = W - W_{k2}$; $W_{p2} = 8 \cdot 10^{-3}\ \text{J} - 2 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 6 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 6\ \text{mJ}$.

Atsakymas. Rutuliuko poslinkis po 52,36 ms lygus 2 cm; pilnutinė mechaninio svyravimo energija – 8 mJ; praslinkus laikui $\frac{T}{6}$, rutuliuko kinetinė energija lygi 2 mJ, o potencinė energija – 6 mJ.

7.6* pavyzdys

Materialiojo taško koordinatė $x = 2{,}1 \cos \pi \left(\frac{2\pi t}{3} - \frac{1}{4} \right)$ cm. Nustatykite svyravimo amplitudę, dažnį, periodą, pradinę fazę ir greičio bei pagreičio maksimalią vertę.

$x = 2{,}1 \cos \pi \left(\frac{2\pi t}{3} - \frac{1}{4} \right) \text{cm} = 0{,}021 \cos \pi \left(\frac{2\pi t}{3} - \frac{1}{4} \right) \text{m}$

A – ? f – ? T – ? φ_0 – ? v_m – ? a_m – ?

Sprendimas

Lygindami šio svyravimo lygtį su teorine svyravimo lygtimi $x = A\cos(\omega t + \varphi_0)$, pastebime, kad svyravimo amplitudė $A = 2{,}1$ cm $= 0{,}021$ m; svyravimo dažnis $f = \frac{\omega}{2\pi}$; $f = \frac{3}{2\pi} = \frac{1}{3}\,\mathrm{s}^{-1}$; svyravimo pradinė fazė $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$ rad. Be to, svyravimo periodas $T = \frac{1}{f}$; $T = \frac{1}{\frac{1}{3}\,\mathrm{s}^{-1}} = 3\,\mathrm{s}$.

Svyravimo greitį randame apskaičiavę judėjimo lygties išvestinę (iš matematikos žinome, kad greitis atitinka pirmąją koordinatės išvestinę pagal laiką):

$v = \frac{dx}{dt} = \left(A\cos\pi\left(\frac{2\pi t}{3} - \frac{1}{4}\right)\right)'$. Įrašę dydžių skaitines vertes, užrašome svyruojamojo judėjimo greičio lygtį: $v = -0{,}021\frac{2\pi}{3}\sin\pi\left(\frac{2\pi t}{3} + \frac{1}{4}\right)\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Iš pastarosios lygties randame greičio maksimalią (amplitudinę) vertę: $v_m = 0{,}021\frac{2\pi}{3}\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} = 0{,}044\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Analogiškai apskaičiuojame svyravimo pagreičio maksimalią vertę (iš matematikos žinome, kad pagreitis atitinka greičio pirmąją išvestinę pagal laiką arba koordinatės antrąją išvestinę pagal laiką):

$a = \frac{dv}{dt} = \left(-0{,}021\frac{2\pi}{3}\sin\pi\left(\frac{2\pi t}{3} + \frac{1}{4}\right)\right)' = -0{,}021\left(\frac{2\pi}{3}\right)^2\cos\pi\left(\frac{2\pi t}{3} + \frac{1}{4}\right)\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname: $a_m = -0{,}021\left(\frac{2\pi}{3}\right)^2\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} = -0{,}092\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Atsakymas. Materialiojo taško svyravimo amplitudė lygi 0,021 m, svyravimo dažnis $\frac{1}{3}\,\mathrm{s}^{-1}$, pradinė fazė $\frac{\pi}{4}$ rad, periodas 3 s, greičio amplitudė 0,044 m/s, o pagreičio amplitudė – 0,092 m/s.

7.1. Materialusis taškas per 1 min atliko 300 svyravimų. Apskaičiuokite jo svyravimo periodą ir dažnį.

7.2. Materialusis taškas svyruoja 10 kHz dažniu. Apskaičiuokite svyravimo periodą ir svyravimų skaičių per minutę.

7.3. Dvi spyruoklinės svyruoklės svyruoja vertikaliai vienodais periodais. Antroji svyruoklė pradėjo svyruoti pavėlavusi dviem periodais; puse periodo. Ką galite pasakyti apie tų svyruoklių greičių kryptis (viena kitos atžvilgiu) bet kuriuo laiko momentu ir apie jų svyravimo fazes? Atsakymus pagrįskite.

7.4. Kokio ilgio matematinė svyruoklė per 2 s susvyruoja 1 kartą, kai laisvojo kritimo pagreitis lygus 9,81 m/s^2? Kiek kartų reikia pakeisti svyruoklės ilgį, kad svyravimo dažnis padidėtų dvigubai?

7.5. 150 cm ilgio svyruoklė per 300 s susvyruoja 125 kartus. Raskite laisvojo kritimo pagreitį svyruoklės buvimo vietoje.

7.6. Per tą patį laiką viena svyruoklė susvyravo 10 kartų, kita – 20 kartų. Koks yra tų svyruoklių ilgių santykis?

7.7. Dviejų matematinių svyruoklių periodų santykis lygus 3:2. Kiek kartų pirmoji svyruoklė ilgesnė už antrąją?

7.8. 99,5 cm ilgio matematinė svyruoklė per minutę atlieka 30 svyravimų. Apskaičiuokite svyravimo periodą ir laisvojo kritimo pagreitį jos buvimo vietoje.

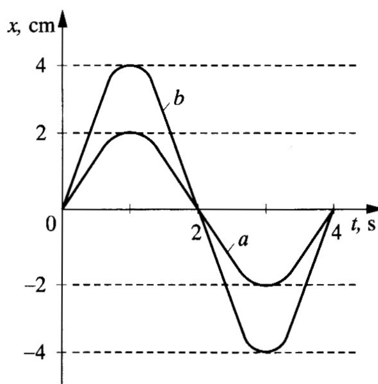
7.9. Kokiu periodu harmoningai svyruoja 1m ilgio matematinė svyruoklė, jeigu laisvojo kritimo pagreitis toje vietoje lygus 9,81 m/s^2? Kiek kartų ir kaip reikia pakeisti svyruoklės ilgį, kad jos svyravimų dažnis padidėtų dvigubai?

7.10. Prie lubų prikabintos dvi svyruoklės. Per tą patį laiką viena jų atlieka 5 svyravimus, o kita – 3. Kokio ilgio yra kiekviena svyruoklė, jeigu jų ilgis skiriasi 48 cm?

7.11. Kiek kartų skiriasi tos pačios spyruoklės svyravimo periodas Mėnulyje ir Žemėje? Žinoma, kad $g_M \approx \frac{g_Ž}{6}$.

7.12.* Ant ilgo siūlo pakabintas plieninis rutuliukas svyruoja harmoningai. Iš apačios prie jo priartinamas magnetas. Kaip dėl to pasikeičia siūlo įtempimo jėga, grąžinančioji į pusiausvyros padėtį jėga ir svyravimo periodas? Atsakymą pagrįskite.

7.13.* Parašykite 7.2 paveiksle parodytų svyravimų lygtis.



7.2 pav.

7.14.* Parašykite harmoninių svyravimų lygtį, kai jų parametrai yra: a) A = 10 cm; $\varphi_0 = \frac{1}{4}\pi$ rad, $\omega = 2\pi$ rad/s; b) A = 5,0 cm, $\varphi_0 = \frac{1}{2}\pi$ rad, T = 2 s; c) A = 4,0 cm, $\varphi_0 = \pi$ rad, f = 2,0 Hz. Nubraižykite šių lygčių grafikus.

7.15.* Materialusis taškas harmoningai svyruoja pagal dėsnį $x = 2\sin\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{2}\right)$; čia x – išreikšta centimetrais, t – sekundėmis. Kokia yra to svyravimo amplitudė A, pradinė fazė φ_0 ir periodas T? Nubraižykite šios lygties grafiką.

7.16.* Koks yra harmoningai svyruojančio materialiojo taško poslinkis nuo pusiausvyros padėties laiko momentais $t_1 = 0$, $t_2 = \frac{T}{12}$, $t_3 = \frac{T}{4}$, $t_4 = \frac{T}{2}$, jeigu svyravimo amplitudė lygi A, o pradinė fazė $\varphi_0 = 0$?

7.17.* Materialiojo taško harmoninis svyravimas apibūdinamas lygtimi $x = 0{,}4\cos \pi t$. Kokia yra to svyravimo amplitudė, periodas bei dažnis? Kiek svyruojantis taškas nukrypsta nuo pusiausvyros padėties, praėjus 0,5 s nuo svyravimo pradžios?

7.18.* Svyravimas apibūdinamas lygtimi $x = 0{,}06\cos 100\pi t$. Apskaičiuokite amplitudę, dažnį ir periodą. Nubraižykite šios svyravimo lygties grafiką.

7.19. Kokia yra materialiojo taško harmoninio svyravimo fazė praėjus 0,1 s nuo svyravimo pradžios? Kampinis to taško svyravimo dažnis lygus 10 rad/s.

7.20. Apskaičiuokite materialiojo taško harmoninio svyravimo fazę praėjus 0,1s nuo svyravimo pradžios, kai svyravimo periodas 0,2 s.

7.21. Kūnas harmoningai svyruoja 20 Hz dažniu. Apskaičiuokite to kūno svyravimo fazę, praėjus 0,5 s nuo jo svyravimo pradžios.

7.22.* Matematinė svyruoklė, nukreipta nuo pusiausvyros padėties, 8 cm amplitude per 1 min susvyruoja 120 kartų. Parašykite svyruoklės harmoninio svyravimo lygtį.

7.23. Prie spyruoklės, kurios standumas 10 N/m, prikabintas 0,1 kg masės kūnas. Apskaičiuokite jo svyravimo periodą.

7.24. Prie spyruoklės prikabintas 100 g masės pasvarėlis svyruoja 2 Hz dažniu. Nustatykite spyruoklės standumą.

7.25. Prie spyruoklės prikabintas 5 kg masės kūnas. Jo veikiama, spyruoklė per minutę susvyruoja 45 kartus. Apskaičiuokite spyruoklės standumą.

7.26. Prie 250 N/m, standumo spyruoklės prikabintas pasvaras per 16 s susvyruoja 20 kartų. Apskaičiuokite prikabinto pasvaro masę.

7.27. Harmoningai svyruojančio kūno koordinatė kinta pagal dėsnį $x = 5\cos 2\pi t$. Nustatykite kūno greičio amplitudę ir greitį tuo momentu, kai koordinatės fazė lygi $\frac{5}{6}\pi$ rad.

7.28. Ar greitis, kuriuo svyruoklė pereina pusiausvyros padėtį, priklauso nuo svyravimo amplitudės? Kodėl? Atsakymą pagrįskite teorinėmis žiniomis ir konkrečiais pavyzdžiais.

7.29.* Kabantis ant spyruoklės 0,10 kg masės kūnas svyruoja vertikalia kryptimi 4,0 cm amplitude. Koks yra jo harmoninių svyravimų periodas, jeigu spyruoklės tamprųjį pailgėjimą, lygų 1 cm, sukelia 0,10 N jėga? Kokia yra spyruoklės harmoninių svyravimų energija? Į spyruoklės svorį neatsižvelkite.

7.30.* *m* masės matematinės svyruoklės, harmoningai svyruojančios amplitudės *A*, energija lygi *W*. Raskite svyruoklės svyravimo dažnį ir jos siūlo ilgį. Ar pasikeis harmoningo svyravimo energija, jeigu jo amplitudė dvigubai padidės, o dažnis perpus pažemės? Atsakymą pagrįskite.

7.31.* Harmoningai svyruojančio kūno pilnutinė energija 300 mJ. Didžiausia jį veikianti jėga 1,5 mN, svyravimo periodas 2 s ir pradinė fazė lygi 60°. Parašykite svyravimo lygtį.

7.32.* Prie spyruoklės prikabintas pasvarėlis svyruoja vertikaliai 4 cm amplitude. Spyruoklės standumas 1 kN/m. Nustatykite pasvarėlio pilnutinę svyravimo energiją.

7.33.* 0,4 kg masės pasvaras svyruoja prikabintas prie 250 N/m standumo spyruoklės. Svyravimo amplitudė 15 cm. Apskaičiuokite pilnutinę mechaninę svyravimo energiją ir didžiausią pasvaro greitį.

7.34.* Prie spyruoklės, kurios standumas 16 N/m, prikabintas 200 g masės kūnas. Jo svyravimo horizontalioje plokštumoje amplitudė lygi 2 cm. Apskaičiuokite to kūno svyravimo kampinį dažnį, sistemos pilnutinę energiją ir kūno svyravimo greičio amplitudinę vertę.

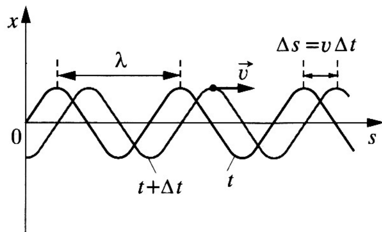
7.35.* Svyruoklė, kurios ilgis *l*, pakabinta ant pakabos, judančios vertikaliai pagreičiu *a*. Koks yra svyruoklės svyravimo periodas, kai pakaba juda aukštyn ir kai ji juda žemyn, jeigu $a < g$?

7.36.* Raketoje, kylančioje vertikaliai aukštyn, matematinė svyruoklė svyruoja perpus mažesniu periodu, negu Žemėje. Kokiu pagreičiu kyla raketa, jeigu laisvojo kritimo pagreitis lygus *g*? Atsakymą pagrįskite.

8. Mechaninės bangos. Akustikos elemantai

Mechaninėmis bangomis vadinamas mechaninių svyravimų sklidimas tampriąja terpe (aplinka) laikui bėgant.

Skersinės bangos	Išilginės bangos
Bangos, kurių dalelės svyruoja statmenai bangos sklidimo krypčiai, vadinamos skersinėmis bangomis. Skersinės bangos sklinda kietaisiais kūnais (pvz., stygomis) ir skystųjų bei dujinių terpių riba (pvz., vandens paviršiumi) dėl terpės šlyties deformacijos.	Bangos, kurių dalelės svyruoja išilgai bangos sklidimo krypties, vadinamos išilginėmis bangomis. Išilginės bangos sklinda dujomis, skysčiais ir kietaisiais kūnais dėl jų susispaudimo ir praretėjimo bangos sklidimo kryptimi.



λ – bangos ilgis – atstumas, tarp dviejų artimiausių vienoda faze svyruojančių bangos dalelių (arba tai – atstumas, kurį banga nusklinda per vieną periodą).

Bet kurios mechaninės bangos, sklindančios terpe, dalelės tik svyruoja apie pusiausvyros padėtis, o svyravimo fazė slenka bangos greičiu v. Vadinasi, šaltinio taške vykstantis svyravimas pasieks s atstumu esantį tašką praėjus laikui $\Delta t = \frac{s}{v}$.

Bangos lygtis, nusakanti terpės dalelių nuokrypį nuo pusiausvyros padėties priklausomai nuo laiko t ir atstumo nuo šaltinio s, atsižvelgiant į vėlavimo laiką Δt, yra: $x = A\sin\omega(t - \Delta t) = A\sin\omega\left(t - \frac{s}{v}\right)$;

čia A – bangos amplitudė, ω – kampinis dažnis; $\varphi = \omega\left(t - \frac{s}{v}\right)$ – fazė.

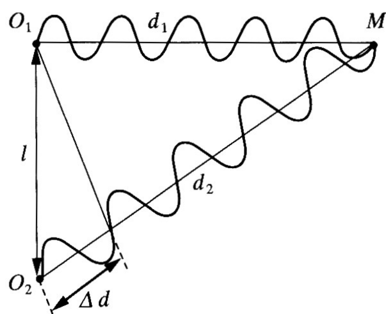
$v = \frac{\lambda}{T}$; $T = \frac{1}{f}$; $v = \lambda \cdot f$.

Bangai pereinant iš vienos terpės į kitą, dalelių svyravimo dažnis išlieka pastovus, o sklindančios bangos ilgis pakinta proporcingai jos greičiui: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1}{v_2}$.

Sklindant mechaninėms bangoms, perduodama energija, o ne medžiaga.

Bangų interferencija ir difrakcija

Bangų interferencija yra dviejų (arba daugiau) bangų sudėtis, kai skirtinguose erdvės taškuose susidaro atstojamosios bangos amplitudės padidėjimas arba sumažėjimas.



Koherentinės bangos yra bangos, kurių šaltinių dažniai ir amplitudės vienodi, o svyravimų fazės sutampa arba skiriasi tam tikru pastoviu (nepriklausančiu nuo laiko) dydžiu.

Abiejų šaltinių svyravimų fazių skirtumas turi likti nepakitęs.

Maksimumų sąlyga: $\Delta d = k\lambda$, $k = 0, 1, 2, ...$

Minimumų sąlyga: $\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$.

Bangų difrakcija – tai bangų nukrypimas nuo tiesaus kelio, aplenkiant kliūtį. Difrakcija stebima tuomet, kai mechaninės bangos ilgis yra didesnis už kliūties matmenis.

Garso bangos

Garso bangomis (garsu) vadinamos išilginės bangos, kurių dažnių diapazonas yra nuo 20 Hz iki 20 000 Hz.

Fizikinės garso charakteristikos: 1) kuo didesnė garso bangos amplitudė, tuo didesnis garso intensyvumas; 2) garso tono aukštį apibūdina pagrindinio (mažiausio dažnio) obertono dažnis; šiam dažniui didėjant, garso tonas aukštėja; 3) garso tembrą lemia obertonų santykiniai intensyvumai; pagal tembrą skiriame žmonių balsus, įvairių muzikinių instrumentų skleidžiamus garsus ir pan.

Garso stipris, arba intensyvumas – tai garso energija, kuri per laiko vienetą pakliūva į ausies ploto vienetą.

Žmogaus girdimų garsų intensyvumo intervalas yra nuo 10^{-12} W/m^2 iki 1 W/m^2. Stipresni negu 1 W/m^2 garsai sukelia skausmą ir gali pažeisti ausis.

Kadangi mūsų girdimų garsų intensyvumo kitimo ribos labai plačios, tai A. Belas garso stiprį pasiūlė matuoti girdimumo ribos atžvilgiu logoritminiais vienetais – decibelais (dB) pagal tokią formulę: $\beta = 10\lg\left(\frac{J}{J_0}\right)$; čia J – garso intensyvumas.

8.1 pavyzdys

Žemiausias vyriško balso tonas yra maždaug 80 Hz, o aukščiausias moteriško balso tonas – 1300 Hz dažnio. Kokie yra tų garsų bangos ilgiai ore? Garso greitis ore 340 m/s.

$f_1 = 80$ Hz
$f_2 = 1300$ Hz
$v = 340$ m/s

λ_1 – ? λ_2 – ?

Sprendimas

Į bangos ilgio lygtį $\lambda = \frac{v}{f}$ įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą:

$$\lambda_1 = \frac{340\,\text{m/s}}{80\,\text{Hz}} = 4.25\,\text{m};$$

$$\lambda_1 = \frac{340\,\text{m/s}}{1300\,\text{Hz}} = 0,26\,\text{m}.$$

Atsakymas. Žemiausio vyriško balso garso bangos ilgis ore lygus 4,25 m, o aukščiausio moteriško balso – 0,26 m.

8.2 pavyzdys

Laivelį sūpuoja bangos, sklindančios 1,5 m/s greičiu. Atstumas tarp artimiausių taškų, kurių svyravimo fazės skiriasi 90°, lygus 1,5 m. Koks tų bangų ilgis ir svyravimo periodas?

$v = 1,5$ m
$s = 1,5$ m
$\Delta\varphi = 90° = \frac{\pi}{2}$

λ – ? T – ?

Sprendimas

Kuo toliau vienas nuo kito taškai, tuo labiau skiriasi jų fazės. Todėl bangos ilgiui rasti tenka pasinaudoti taškų svyravimo fazių skirtumo ir atstumo tarp tų taškų priklausomybe. Taškų, kurie vienas nuo kito nutolę bangos ilgiu λ, svyravimo fazės skiriasi 2π. Taškų, kurie nutolę atstumu s vienas nuo kito, fazių skirtumas apskaičiuojamas taip: $\frac{\Delta\varphi}{2\pi} = \frac{s}{\lambda}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame bangos ilgį λ, įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame rezultatą: $\lambda = \frac{2\pi s}{\Delta\varphi} = 4s$;
$\lambda = 4 \cdot 1,5\,\text{m} = 6\,\text{m}$.

Bangų svyravimo periodą randame iš formulės

$$v = \frac{\lambda}{T};\quad T = \frac{\lambda}{v}\quad \text{ir}\quad T = \frac{6\,\text{m}}{1,5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 4\,\text{s}.$$

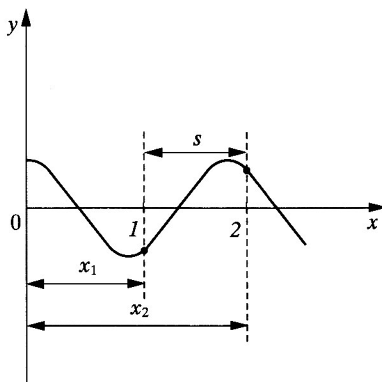
Atsakymas. Bangų, sūpuojančių laivelį, ilgis 6 m, o jų periodas – 4 s.

8.3 pavyzdys

Bangos sklinda vandens paviršiumi. Jų sklidimo greitis 2,4 m/s, dalelių svyravimo dažnis 3 Hz. Kam lygus taškų, kurie yra nutolę vienas nuo kito 0,2 m atstumu, fazių skirtumas?

$v' = 0{,}2$ m/s
$f = 3$ Hz
$s = 0{,}2$ m

$\Delta\varphi - ?$



8.1 pav.

Sprendimas

Galimi du uždavinio sprendimo būdai.

I būdas. Fazių skirtumas tarp taškų, nutolusių per bangos ilgį, yra lygus 2π. Todėl atstumu s nutolusių taškų fazių skirtumas $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}s$. Kadangi bangos ilgis $\lambda = \frac{v}{f}$, tai $\Delta\varphi = \frac{2\pi f}{v}s$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 3\,\text{Hz}}{2{,}4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 0{,}2\,\text{m} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ.$$

II būdas. Iš plokštumos taško 0 (8.1 pav.) sklindantis svyravimas tašką *1* pasiekia per laiką $t_1 = \frac{x_1}{v}$, o tašką *2* – per laiką $t_2 = \frac{x_2}{v}$. Vadinasi, nagrinėjamų taškų svyravimų fazės yra $\varphi_1 = \omega\frac{x_1}{v} + \varphi_0$ ir $\varphi_2 = \omega\frac{x_2}{v} + \varphi_0$, o $x_2 - x_1 = s$; čia φ_0 – pradinė fazė. Apskaičiuojame nagrinėjamų taškų fazių skirtumą:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \omega\frac{s}{v} = 2\pi\frac{fs}{v};\quad \Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot 3\,\text{Hz} \cdot 0{,}2\,\text{m}}{2{,}4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ.$$

Atsakymas. Fazių skirtumas tarp nagrinėjamos bangos taškų lygus 90°.

8.4 pavyzdys

Nuo žemės drebėjimo židinio sklinda ir išilginės (vadinamosios P) ir skersinės (S) seisminės bangos. Jų greitis yra skirtingas ir priklauso nuo Žemės plutos mechaninių savybių, kartu ir nuo gylio. Tarkime, kad žemės drebėjimo židinys yra arti paviršiaus. P bangų greitis yra 7,9 km/s, S bangų – 4,4 km/s. Seismologijos stotis užregistravo S bangas 10 min. vėliau už P bangas. Nustatykite žemės drebėjimo židinio nuotolį nuo seismologijos stoties.

$v_P = 7{,}9$ km/s
$v_S = 4{,}4$ km/s
$\Delta t = 10$ min $= 600$ s

$s - ?$

Sprendimas

Laikas t_1, per kurį P banga atsirita nuo drebėjimo židinio, lygus $t_1 = \dfrac{s}{v_P}$, o laikas t_2, per kurį S banga atsirita nuo drebėjimo židinio, lygus $t_2 = \dfrac{s}{v_S}$. Iš uždavinio sąlygos galime parašyti: $\Delta t = t_2 - t_1 = \dfrac{s}{v_S} - \dfrac{s}{v_P}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame s ir apskaičiuojame jo skaitinę vertę: $s = \dfrac{v_P v_S \Delta t}{v_P - v_S}$; $s = \dfrac{7{,}9\,\dfrac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 4{,}4\,\dfrac{\text{km}}{\text{s}}\,\text{s} \cdot 600\,\text{s}}{7{,}9\,\dfrac{\text{km}}{\text{s}} - 4{,}4\,\dfrac{\text{km}}{\text{s}}} = 5959\,\text{km}.$

Atsakymas. Nuo Žemės drebėjimo židinio iki seismologijos stoties yra 5959 km nuotolis. Tokį žemės drebėjimo židinio nuotolio nustatymo būdą ir taiko seismologijos stotys. Kadangi žemės drebėjimų židiniai būna giliai po žemės paviršiumi, randama židinio centro projekcija į žemės sferinį paviršių, kuri vadinama žemės drebėjimo epicentru (*epi... – gr.* priešdėlis, reiškiantis buvimą ant, virš, šalia ko nors).

8.5 pavyzdys

Negarsiai kalbančio žmogaus balso stygos skleidžia maždaug 10^{-5} W galios garso bangas. Tarkime, burnos ertmės plotas lygus 10 cm^2 ir esant 37 °C temperatūrai garso greitis lygus 352 m/s. Raskite garso bangos intensyvumą ir srauto tankį ties burnos anga.

$N = 10^{-5}$ W
$S = 10$ cm$^2 = 10 \cdot 10^{-4}$ m$^2 = 10^{-3}$ m^2
$v = 352$ m/s

$J - ?$ $w - ?$

Sprendimas

Garso bangos intensyvumu (arba bangos energijos srauto tankiu) vadinama energija, pernešama per laiko vienetą pro ploto vienetą statmenai šiam plotui: $J = \dfrac{\Delta W}{\Delta S_\perp \Delta t} = \dfrac{N}{\Delta S_\perp}$. Įrašome dydžių skaitines vertes ir gauname:

$$J = \frac{10^{-5}\,\text{W}}{10^{-3}\,\text{m}^2} = 10^{-2}\,\frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Garso bangos srauto tankį apskaičiuojame pagal formulę $J = w \cdot v$. Iš pastarosios lygties išreiškiame garso bangos energijos srauto tankį: $w = \frac{J}{v}$;

$$w = \frac{10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}{352 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2,8 \cdot 10^{-5} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}.$$

Atsakymas. Garso bangos intensyvumas lygus 10^{-2} W/m^2, o garso bangos energijos srauto tankis – $2,8 \cdot 10^{-5}$ J/m^3.

8.6 pavyzdys

Normalios klausos žmonės gali atskirti garso intensyvumo lygio pokytį $\Delta\beta$, lygų 1 dB. Kokį intensyvumo pokytį tai atitinka?

$\Delta\beta = 1\text{dB}$

$\frac{J_2}{J_1} - ?$

Sprendimas

Taikydami garso intensyvumo lygio lygtį, galime parašyti, kad

$$\beta_1 = 10\lg\frac{J_1}{J_0}, \quad \beta_2 = 10\lg\frac{J_2}{J_0}. \text{ Vadinasi, } \Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10\left(\lg\frac{J_2}{J_0} - \lg\frac{J_1}{J_0}\right) = 10\lg\frac{J_2}{J_1}.$$

Iš pastarosios lygties gauname: $\frac{J_2}{J_1} = 10^{0,1\Delta\beta} = 1,259.$

Atsakymas. Intensyvumo lygio pokytis 1 dB reiškia, kad intensyvumas pakito 1,259 karto.

8.7 pavyzdys

Apskaičiuokite garso intensyvumo lygio sumažėjimą padidėjus atstumui iki taškinio garso šaltinio n kartų (garso slopinimo aplinkoje nepaisome).

$r_2 = nr_1$

$\Delta\beta - ?$

Sprendimas

Taškinis šaltinis izotropinėje (gr. *isos* – lygus, vienodas, panašus + gr. *tropos* – kryptis, savybė; medžiagos savybių vienodumas visomis kryptimis) aplinkoje skleidžia sferinę bangą. Sferos plotas tiesiogiai proporcingas jos spindulio kvadratui. Ta pati energija tenka plotui, kuris yra tiesiogiai proporcingas atstumo iki taškinio šaltinio kvadratui. Vadinasi, pagal formulę $J = \frac{\Delta W}{\Delta S_\perp \Delta t}$ sferinės bangos garso intensyvumas atvirkščiai proporcingas šio atstumo kvadratui: $\frac{J_1}{J_2} = \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 = \left(\frac{nr_1}{r_1}\right)^2 = n^2$. Taikome 8.6 pavyzdžio formulę ir gauname:

$$\Delta\beta = \beta_2 - \beta_1 = 10\lg\frac{J_2}{J_1} = 10\lg\left(\frac{1}{n^2}\right) = -20\lg n\ (\text{dB}).$$

Atsakymas. Minuso ženklas reiškia intensyvumo lygio mažėjimą didėjant atstumui iki garso šaltinio.

8.1. 0,01 s periodo svyravimai medžiagoje sukelia 10 m ilgio garso bangas. Apskaičiuokite jų plitimo šioje medžiagoje greitį.

8.2. Žmogaus ausis girdi garsus, kurių dažnis yra nuo 20 Hz iki 20 kHz. Koks šių garso virpesių bangos ilgis? Ore garsas plinta 340 m/s greičiu.

8.3. Jūra plaukiančio katerio greitis 54 km/h, bangų ilgis 20 m, vandens dalelių svyravimo periodas 2 s. Kokiu dažniu bangos plakasi į katerį, plaukiantį: a) prieš bangas; b) bangavimo kryptimi?

8.4. Ežero bangų ilgis 4 m. Per 1 s šios bangos atsimuša į plaukiantį prieš jas katerį 4 kartus, o į plaukiantį bangavimo kryptimi – 2 kartus. Koks katerio ir bangų greitis?

8.5. Ant kranto stovintis žmogus pastebėjo, kad per 6 s pro jį nusirito 4 bangų keteros; pirmosios bangos ketera per tą laiką nutolo 18 m. Apskaičiuokite: a) bangų sklidimo greitį; b) jų ilgį; c) vandens dalelių svyravimo dažnį.

8.6. Banga, kurios dažnis 50 Hz, plinta 300 m/s greičiu. Apskaičiuokite dviejų taškų, bangos plitimo kryptimi nutolusių vienas nuo kito 2 m, fazių skirtumą.

8.7. Garso banga, kurios periodas 0,01 s, plinta oru 340 m/s greičiu. Apskaičiuokite jos ilgį ir dviejų taškų, bangos plitimo spindulyje nutolusių vienas nuo kito per 1,7 m, fazių skirtumą.

8.8. Nustatykite svyravimo fazių skirtumą taškų, nutolusių nuo bangų šaltinio atitinkamai 6 m ir 12 m. Svyravimo periodas 0,04 s, bangos sklidimo greitis 300 m/s.

8.9. Bangos, kurių virpesių dažnis 4 Hz, sklinda 2 m/s greičiu. Apskaičiuokite jų ilgį. Koks fazių skirtumas susidaro tarp dviejų taškų, esančių 1 m atstumu išilgai bangos sklidimo krypties?

8.10. Ar garsas, sklindantis iš krante esančio garsiakalbio, vandenyje bus iškraipytas? Kas pakinta garso bangai pereinant iš vienokios aplinkos į kitokią: garso dažnis, jo sklidimo greitis ar bangos ilgis?

8.11.* 10 Hz dažnio banga sklinda tam tikra aplinka. Bangos taškai, esantys viename spindulyje ir nutolę vienas nuo kito 1 m atstumu, svyruoja taip, kad jų fazių skirtumas lygus $\frac{\pi}{4}$. Apskaičiuokite bangos sklidimo greitį.

8.12.* Dviejų koherentinių vienodos amplitudės bangų eigų skirtumas lygus 0,15 m, bangos ilgis 10 cm. Koks šių bangų interferencinis vaizdas?

8.13.* Sirenos ratas, kuriame yra 30 skylučių, sukasi 600 aps/min greičiu. Apskaičiuokite jo skleidžiamos garso bangos dažnį bei ilgį. Garso greitis ore 300 m/s.

8.14. Koks yra jūros gylis, jei echoloto signalas grįžo per laiką 1,6 s? Garso greitis vandenyje 1480 m/s.

8.15. Garsas vandenyje sklinda 1480 m/s greičiu, ore – 340 m/s greičiu. Kiek kartų pakinta bangos ilgis, garsui pereinant iš oro į vandenį?

8.16.* Iš jūra plaukiančio vieno katerio pasiųstas garsinis echoloto signalas. Kitame kateryje, nutolusiame nuo pirmojo 3 km atstumo, jis buvo priimtas du kartus 2 s intervalu. Vandenyje garso greitis lygus 1500 m/s. Apskaičiuokite jūros gylį.

8.17.* Tiriant plieninę detalę ultragarsiniu defektoskopu, po išspinduliuoto ultragarso impulso praėjus 0,1 ms bei 0,2 ms, buvo priimti du nuo tos detalės atsispindėję impulsai. Pliene garsas sklinda 5200 m/s greičiu. Apskaičiuokite defekto gylį ir detalės storį.

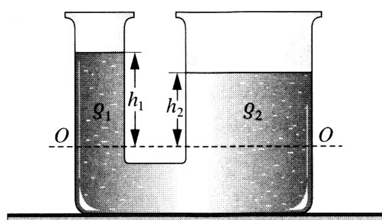
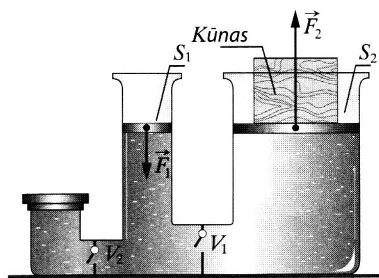
8.18.* Garso virpesių dažnis 10 Hz. Koks yra garso bangos ilgis: a) ore; b) vandenyje; c) geležyje; d) beorėje erdvėje?

9. Mechaninės skysčių ir dujų savybės

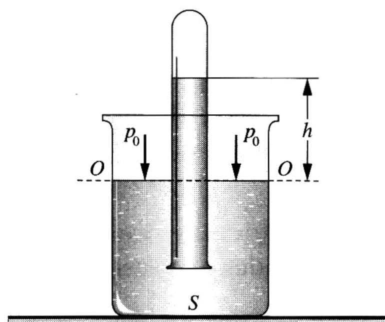
Skysčiai ir dujos skiriasi nuo kietųjų kūnų pirmiausia tuo, kad jie įgauna užimamo indo formą. Kai skystis yra nesvarus, jis įgauna rutulio formą (mažiausias paviršiaus plotas, vadinasi, mažiausia paviršiaus energija; tai – stabili būsena). Skysčiai beveik nespūdūs, nes išoriniam poveikiui priešinasi jų tamprumo jėgos. Jos visada yra statmenos indo paviršiui. Paviršiaus ploto vienetą statmenai veikianti jėga vadinama slėgiu:

$p = \dfrac{F}{S}$.	1 Pa = 1 N/m^2 1 bar = 10^5 Pa.	760 mmHg = 1,013 · 10^5 Pa; 1 atm = 1,013 · 10^5 Pa – normalus atmosferos slėgis; 1 atm = 760 mmHg; 1 at = 9,81 · 10^4 Pa (vadinamoji techninė atmosfera).

Paskalio dėsnis teigia, kad slegiami nejudantys skysčiai ir dujos perduoda slėgį į visas puses vienodai.
Slėgis, veikiantis nejudančiame skystyje, vadinamas hidrostatiniu slėgiu.

Susisiekiantieji indai	**Hidraulinis presas (mašina)**
 Susisiekiančiųjų indų skysčių stulpelių aukščiai atvirkščiai proporcingi jų tankiams: $\dfrac{h_1}{h_2} = \dfrac{\rho_2}{\rho_1}$.	 Hidrauline mašina laimima jėgos tiek kartų, kiek kartų didžiojo stūmoklio plotas yra didesnis už mažojo stūmoklio plotą. Kadangi $p_1 = p_2$, tai $F_2 = \dfrac{S_2}{S_1} F_1$. $\dfrac{F_1}{S_1} = \dfrac{F_2}{S_2}$.

Toričelio bandymas

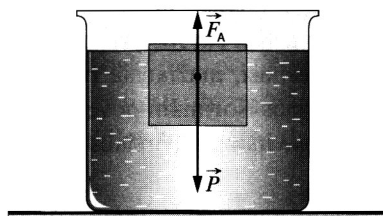


$$p_0 = \frac{m_{Hg} \cdot g}{S} = \frac{\rho V_{Hg} \cdot g}{S},$$

$p_0 = \rho g h$.

Normalus atmosferos slėgis $p_0 = 1{,}013 \cdot 10^5$ Pa.

Archimedo jėga



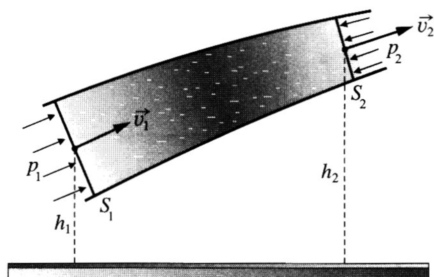
$F_A = P_{sk}$.

$F_A = \rho_{sk(d)} g V_K$; $\rho_K \leq \rho_{sk(d)}$ – kūno plūduriavimo sąlyga.

Skystis ar dujos kelia juose esantį kūną jėga, kurios skaitinė vertė lygi kūno panirusios dalies išstumto skysčio ar dujų svoriui.

Skysčio slėgio priklausomybė nuo jo tėkmės greičio

Idealiojo (neklampaus ir nespūdaus) skysčio statinio, hidrostatinio ir dinaminio slėgių suma bet kuriame tėkmės skerspjūvyje yra pastovus dydis:



$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2 = \text{const};$$

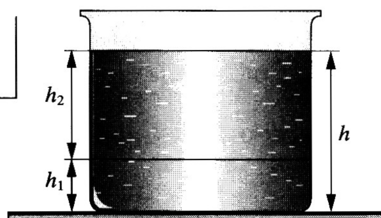
čia p – statinis slėgis; $\frac{\rho v^2}{2}$ – dinaminis slėgis; $\rho g h$ – hidrostatinis slėgis.

Kai skystis teka horizontaliu vamzdžiu ($h_1 = h_2$), $\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{const}$. Slėgis mažesnis tose tėkmės vietose, kur jo greitis didesnis, ir atvirkščiai. $Sv = \text{const}$. Skysčio tėkmės greitis didesnis siauresnėse vietose, nes pro bet kurį skerspjūvio plotą per tą patį laiką, prateka vienodas skysčio kiekis.

9.1 pavyzdys

Į cilindrinį indą įpilta vienodos masės gyvsidabrio ir vandens. Abiejų skysčių sluoksnių bendras aukštis 29,2 cm (9.1 pav.). Apskaičiuokite bendrą skysčių slėgį į indo dugną.

h = 29,2 cm = 0,292 m	ρ_1 = 13,6 · 10^3 kg/m^3
$m_1 = m_2$	ρ_2 = 10^3 kg/m^3
p – ?	



9.1 pav.

Sprendimas

Bendras skysčių slėgis į indo dugną $p = p_1 + p_2$ (**1**); čia $p_1 = \rho_1 g h_1$ – gyvsidabrio slėgis į indo dugną, o $p_2 = \rho_2 g h_2$ – vandens slėgis į gyvsidabrio paviršių; ρ_1 ir ρ_2 – gyvsidabrio ir vandens tankis. Įrašome šias slėgių išraiškas į **1** lygtį: $p = g(\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2)$ (**2**). Iš 9.1 paveikslo matome, kad $h = h_1 + h_2$ (**3**), o iš uždavinio sąlygos žinome, kad $m_1 = m_2$, arba $\rho_1 h_1 S = \rho_2 h_2 S$ (čia S – indo plotas). Šioje lygtyje indo plotas S susiprastina ir gauname, kad $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ (**4**). Iš **3** ir **4** lygčių išreiškiame h_1 ir h_2:

$h_1 = \dfrac{h\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$; $h_2 = \dfrac{h\rho_1}{\rho_1 + \rho_2}$ (**5**). **5** lygtį įrašome į **2** lygtį ir gauname:

$p = g\left(\dfrac{\rho_1\rho_2 h}{\rho_1 + \rho_2} + \dfrac{\rho_1\rho_2 h}{\rho_1 + \rho_2}\right) = \dfrac{2\rho_1\rho_2 g h}{\rho_1 + \rho_2}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame bendrą skysčių slėgį:

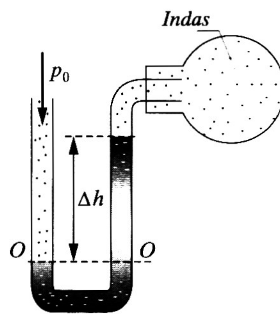
$$p = \frac{2 \cdot 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0{,}292\ \text{m}}{13{,}6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 5{,}3 \cdot 10^3\ \text{Pa} \approx 5{,}3\ \text{kPa}.$$

Atsakymas. Skysčių slėgis į indo dugną apytiksliai lygus 5,3 kPa.

9.2 pavyzdys

Dujų slėgis inde matuojamas vandens pripiltu manometru. Vandens lygių skirtumas 0,2 m (9.2 pav.). Apskaičiuokite dujų slėgį inde, kai atmosferos slėgis p_0 = 1,01 · 10^5 Pa.

Δh = 0,2 m	
p_0 = 1,01 · 10^5 Pa	
p – ?	



9.2 pav.

Sprendimas

Pagal susisiekiančiųjų indų dėsnį, slėgis OO lygyje yra vienodas. Todėl $p_0 = p + \rho g \Delta h$.

Iš čia slėgis inde lygus $p = p_0 - \rho g \Delta h$. Įrašę vertes, apskaičiuojame slėgį:

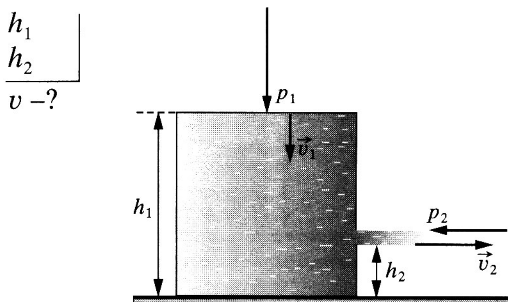
$$p = 1{,}01 \cdot 10^5\,\text{Pa} - 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0{,}2\ \text{m} = 9{,}94 \cdot 10^4\,\text{Pa} = 99{,}4\ \text{kPa}.$$

Atsakymas. Dujų slėgis inde 99,4 kPa.

9.3 pavyzdys

Apskaičiuokite, kokiu greičiu teka neklampus skystis pro atviro indo skylutę (9.3 pav.)

h_1
h_2
v –?



9.3 pav.

Sprendimas

Viršutiniam ir apatiniam skysčio sluoksniams (apatinis sluoksnis – skylutė) taikome Bernulio lygtį:

$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$ (**1**).

Atmosferos slėgis viršutiniame sluoksnyje ir skylutėje yra vienodas (nes lygių skirtumas labai nežymus). Skysčio greitis viršutiniame sluoksnyje daug kartų mažesnis už jo greitį pro skylutę ($v_1 << v_2$). Vadinasi, **1** lygtį galime parašyti taip: $\rho g h_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2$. Pastarąją lygtį pertvarkome ir apskaičiuojame neklampaus skysčio, ištekančio pro skylutę, greitį: $v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$.

Atsakymas. Neklampus skystis pro skylutę teka greičiu, išreikštu formule $v = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$.

9.4 pavyzdys

Kūnas, kurio masė 80 t, presuojamas hidrauliniu presu. Preso stūmoklių plotų santykis yra $\frac{S_2}{S_1} = 50$, o naudingumo koeficientas 75 %. Maksimali kūną veikianti jėga lygi $1 \cdot 10^6$ N. Dėl to kūnas suspaudžiamas 0,3 m. Apskaičiuokite mažąjį stūmoklį veikusio variklio darbą, jei kūno vertikaliai deformacijai tinka Huko dėsnis ir šio stūmoklio ciklų skaičių eiga yra lygi 0,1 m.

$m = 80 \text{ t} = 80 \cdot 10^3 \text{ kg}$
$\frac{S_2}{S_1} = 50$
$\eta = 75 \% = 0{,}75$
$F_2 = 1 \cdot 10^6 \text{ N}$
$\Delta h = 0{,}3 \text{ m}$
$\Delta h_1 = 0{,}1 \text{ m}$
A_{var} – ? n – ?

Sprendimas

Variklio darbas yra didesnis už kūno deformacijos darbą ir susijęs su juo lygtimi: $A_{var} = \frac{A_{def}}{\eta}$. Kūno deformacijos darbas $A_{def} = F_{vid} \Delta h$, nes jėga nėra pastovi. $A_{def} = \frac{F_{min} + F_{max}}{2} \Delta h$; $F_{min} = mg$ – kūną pradedančios veikti jėgos modulis; $F_{max} = mg + F_2$ – galinės jėgos modulis. Taigi variklio darbas

$A_{var} = \left(mg + \frac{F_2}{2} \right) \frac{\Delta h}{\eta}$. Įrašę dydžių skaitines vertes, gauname:

$$A_{var} = \left(80 \cdot 10^3 \text{kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + \frac{1 \cdot 10^6 \text{N}}{2} \right) \frac{0{,}3}{0{,}75} = 5{,}1 \cdot 10^5 \text{J} = 510 \text{kJ}.$$

Mažojo stūmoklio ciklų skaičius $n = \frac{\Delta h}{\Delta h_2}$; čia Δh_2 – didžiojo stūmoklio pakilimo per vieną ciklą aukštis. Jis randamas iš siaurojo cilindro išstumto skysčio ir į platųjį cilindrą įstumto skysčio tūrių lygybės: $\Delta h_2 S_2 = \Delta h_1 S_1$.

Tuomet ciklų skaičius $n = \frac{\Delta h S_2}{\Delta h_1 S_1}$; $n = \frac{0{,}3 \text{ m} \cdot 50}{0{,}1 \text{ m}} = 150$.

Atsakymas. Variklio, veikusio mažąjį stūmoklį, darbas, lygus 510 kJ, o ciklų skaičius lygus 150.

9.5* pavyzdys

Tuščiaviduris švininis rutulys plūduriuoja gyvsidabryje. Trečdalis jo tūrio paniręs. Rutulio spindulys $R = 3$ cm. Apskaičiuokite ertmės tūrį.

$\rho_{Pb} = 11{,}3 \cdot 10^3$ kg/m^3
$\rho_{Hg} = 13{,}6 \cdot 10^3$ kg/m^3
$R = 3 \cdot 10^{-2}$ m
$V_{panir} = \frac{V}{3}$

V_{ertm} – ?

Sprendimas

Plūduriuojantis rutulys yra pusiausviras, todėl galioja lygtis $mg - F_{Arch} = 0$; t. y. $\rho_{Pb}(V - V_{ertm})g = \frac{1}{3}\rho_{Hg} V g$.

Rutulio tūris $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, tuomet ertmės tūris

$V_{ertm} = \frac{4\pi R^3 (3\rho_{Pb} - \rho_{Hg})}{9\rho_{Pb}}$. Įrašę žinomas vertes, gauname:

$$V_{ertm} = \frac{4 \cdot 3{,}14 (3 \cdot 10^{-2} \text{m})^3 \left(3 \cdot 11{,}3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 13{,}6 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{9 \cdot 11{,}3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 67{,}7 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 = 67{,}7 \text{ cm}^3.$$

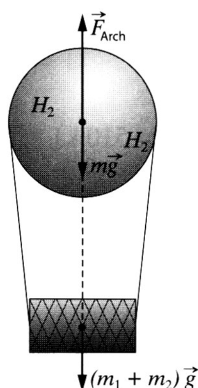
Atsakymas. Ertmės tūris 67,7 cm^3.

9.6* pavyzdys

Vandenilio pripildytas balionas per 30 s pakelia žmogų, kurio masė 70 kg, į 100 m aukštį. Apvalkalo ir krepšio masė 20 kg. Vandenilio tankis 0,1 kg/m^3, oro tankis 1,3 kg/m^3. Oro pasipriešinimo nėra. Kam lygus baliono tūris?

$m_1 = 70$ kg
$m_2 = 20$ kg
$h = 100$ m
$t = 30$ s
$\rho_1 = 0{,}1\ \text{kg/m}^3$
$\rho_2 = 1{,}3\ \text{kg/m}^3$

V – ?



9.4 pav.

Sprendimas

Balionas kyla, veikiamas Archimedo jėgos, kuri yra didesnė už visas sunkio jėgas (9.4 pav.). Baliono judėjimui taikome antrąjį Niutono dėsnį:

$(m_1 + m_2 + m_{\text{H}_2})a = F_{\text{Arch}} - (m_1 + m_2 + m_{\text{H}_2})g.$

Balioną veikiančių jėgų skirtumas per visą judėjimo laiką nekinta, todėl jis kyla pastoviu pagreičiu a (tolygiai greitėdamas), kurį galima išreikšti iš judėjimo lygties:

$h = \dfrac{at^2}{2}.$

Archimedo jėga $F_{\text{Arch}} = \rho_2 gV$, o dujų masė $m_{\text{H}_2} = \rho_1 V$. Vadinasi, baliono tūris $V = \dfrac{(m_1 + m_2)\left(g + \dfrac{2h}{t^2}\right)}{(\rho_2 - \rho_1)g - \rho_1 \dfrac{2h}{t^2}}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame baliono tūrį:

$$V = \frac{(70\ \text{kg} + 20\ \text{kg})\left(9{,}8\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} + \dfrac{2 \cdot 100\ \text{m}}{900\ \text{s}^2}\right)}{\left(1{,}3\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 0{,}1\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \cdot 9{,}8\dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} - 0{,}1\dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \dfrac{2 \cdot 100\ \text{m}}{900\ \text{s}^2}} \approx 77\ \text{m}^3.$$

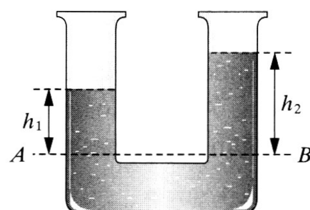
Atsakymas. Balionas užima 77 m³ tūrį.

Paskalio dėsnis ir jo taikymas (susisiekiantieji indai, hidraulinis presas)

9.1. Hidraulinio preso, kurio $\dfrac{S_2}{S_1} = 5$, naudingumo koeficientas lygus 80 %. Paveiktas 7 kN jėgos, mažasis stūmoklis kiekvieną kartą pasislenka 10 cm. Po 50 jo ciklų presuojamą kūną veikia 100 kN jėga. Kokia yra presuojamo kūno masė?

9.2. Į siauresniąją susisiekiančiojo indo šaką įpilama vandens, kurio stulpelio aukštis lygus 0,5 m. Platesniojo indo šakos skersmuo $d_2 = 2d_1$. Kiek pakinta gyvsidabrio lygis šiuose susisiekiančiuose induose?

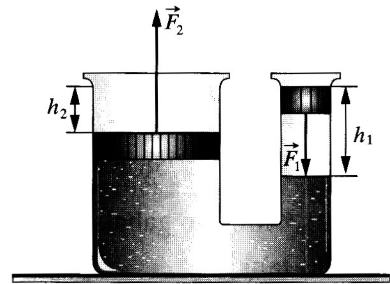
9.3. Į U formos vamzdelio abu galus pripilta vandens ir aliejaus, o tarp jų yra gyvsidabrio sluoksnis (9.5 pav.). Abiejuose šonuose riba tarp gyvsidabrio ir kito skysčio yra vienodame aukštyje. Kokio aukščio yra vandens stulpelis, jeigu aliejaus stulpelio aukštis 20 cm?



9.5 pav.

9.4. Hidraulinio preso mažąjį stūmoklį veikia 196 N jėga, ir per vieną eigą šis stūmoklis nusileidžia 25 cm, o didesnysis stūmoklis pakyla 5 mm (9.6 pav.). Apskaičiuokite slėgio jėgą, veikiančią didesnįjį stūmoklį.

9.5.* Į du skirtingo skerspjūvio ploto susisiekiančiuosius vamzdelius pripilta gyvsidabrio, paskui į platesnįjį vamzdelį, kurio skerspjūvio plotas 8 cm^2, įpilta 272 g vandens. Kiek bus aukštesnis gyvsidabrio lygis siauresniajame vamzdelyje?



9.6 pav.

Sparno keliamoji jėga*

9.6. Kodėl lėktuvai visada kyla arba leidžiasi prieš vėją?

9.7. Kodėl nukris popierinis aitvaras, kai jį laikantis siūlas nutrūks arba staigiai išsivynios?

9.8. Skrenda du lėktuvai: vienas jų pakrautas, o kitas tuščias. Kaip apibūdintumėte jų skridimo greičius, kai visos kitos sąlygos yra vienodos? Atsakymą pagrįskite.

9.9. Slėgis į skrendančio lėktuvo sparno apačią lygus 738 mmHg, o į viršų – 725 mmHg. Sparnų plotas 22 m^2. Apskaičiuokite sparno keliamąją jėgą, kai aptakos kampas lygus nuliui.

9.10. Lėktuvo sparnų plotas 20 m^2. Slėgis į sparno apačią lygus 9,7 N/cm^2, o į viršų – 9,3 N/cm^2. Priekinio pasipriešinimo jėga 20 kartų mažesnė už keliamąją jėgą. Apskaičiuokite lėktuvo sparno keliamąją jėgą ir priekinio pasipriešinimo jėgą.

Archimedo jėga ir jos taikymas

9.11. Ar kūną, panardintą skirtingame skysčio gylyje, veiks vienoda Archimedo jėga? Kodėl?

9.12. Kur laivas nugrims giliau: gėlame vandenyje ar jūroje? Kodėl?

9.13. Ką lengviau išlaikyti vandenyje: plytą ar tokios pat masės geležies gabalą? Kodėl?

9.14. Iš tvenkinio dugno kyla oro burbuliukas. Koks turi būti jį veikiančių jėgų santykis, kad burbuliukas pradėtų judėti tolygiai?

9.15. 500 kg masės ir 600 m^3 tūrio aerostatas pradeda kilti tolygiai greitėdamas. Į kokį aukštį jis pakils per 10 s?

9.16. Kamštinis rutuliukas kyla iš vandens pastoviu greičiu. Kiek kartų rutuliuko svoris mažesnis už vandens pasipriešinimo jėgą?

9.17. 6 m vandens gylyje yra 0,5 m^3 tūrio akmuo. Jo tankis lygus 250 kg/m^3. Kokį darbą reikia atlikti norint iškelti akmenį į vandens paviršių?

9.18.* 400 kg masės žalvarinis dirbinys pakeliamas iš 12 m gylio ežero dugno į 3 m aukštį virš vandens paviršiaus. Kokį darbą atliko lyno įtempimo jėga?

9.19.* 20 m^3 tūrio helio balionas per 0,5 min pakilo į 180 m aukštį. Kokios masės krovinį pakėlė balionas, jei jo masė 12 kg? Oro ir helio tankis nekinta ir yra lygus atitinkamai 1,29 kg/m^3 ir 0,18 kg/m^3.

9.20.* Aukso ir sidabro lydinys pasveriamas ore ir vandenyje. Dinamometras parodo 3 N ir 2,756 N. Apskaičiuokite lydinį sudarančio aukso ir sidabro masę.

9.21.* Medžio gabalas plūduriuoja vandenyje, paniręs $\frac{3}{4}$ savo tūrio. Koks yra to medžio tankis?

9.22.* 44,5 cm^3 tūrio tuščiaviduris varinis rutulys plūduriuoja vandenyje, paniręs iki pusės. Koks jo vidinės ertmės tūris?

Bernulio lygtis ir jos taikymas*

9.23. Kanalo skerspjūvis yra trapecijos formos. Trapecijos pagrindai 2,2 m ir 2,8 m, aukštinė 0,9 m. Apskaičiuokite vandens debitą (m^3/s) kanale, kai vandens srovės greitis 0,35 m/s.

9.24. Iš gręžinio nafta keliama 55 mm skersmens vamzdžiu. Per 0,5 h juo prateka 4,6 t naftos. Apskaičiuokite naftos tekėjimo greitį.

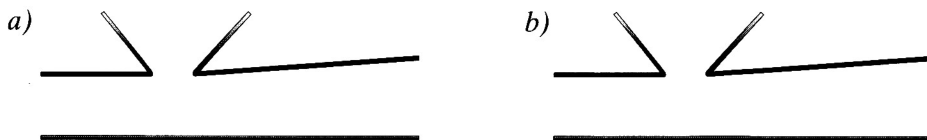
9.25. Kokio skersmens turi būti vamzdis, kad 0,3 m/s greičiu iš jo tekantis vanduo pripildytų 10 l talpos indą per 1 s?

9.26. Kodėl du vertikaliai arti vienas kito laikomi popieriaus lapai suartėja, kai tarp jų pučiamas oras?

9.27. Kur vanduo teka greičiau: gilioje ar seklioje upės dalyje, kai jų plotis vienodas? Atsakymą pagrįskite.

9.28. Kodėl gaisrininkų naudojamų „žarnų“ antgaliai, pro kuriuos purškiamas vanduo, yra mažo skersmens?

9.29. 9.7 paveiksle pavaizduoti du traukos vamzdžiai medžio pjuvenoms iš gamyklos pašalinti. Vienas šių vamzdžių nuolat užsikimšdavo pjuvenomis. Kuris? Kodėl?



9.7 pav.

9.30. Išvedant Bernulio lygtį, daroma prielaida, kad tekantis skystis yra neklampus ir nespūdus. Kuri šių prielaidų geriau tinka skysčiams, kuri – dujoms? Kodėl?

9.31. Nafta teka 0,8 m skersmens vamzdžiu 1,6 m/s greičiu. Apskaičiuokite per 0,5 h šiuo vamzdžiu pratekėjusios naftos tūrį.

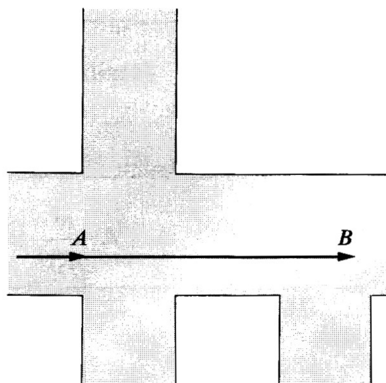
9.32. Per 1 h vandentiekio vamzdžiu 2,4 m/s greičiu prateka 5400 m^3 vandens. Koks yra to vamzdžio skersmuo?

9.33. Vanduo teka nevienodo skersmens vamzdžiu. Toje vamzdžio dalyje, kurios skerspjūvio plotas 16 m^2, vandens srovė prateka 2 m/s greičiu. Koks yra vandens srovės greitis toje vamzdžio dalyje, kurios skerspjūvio plotas 10 m^2?

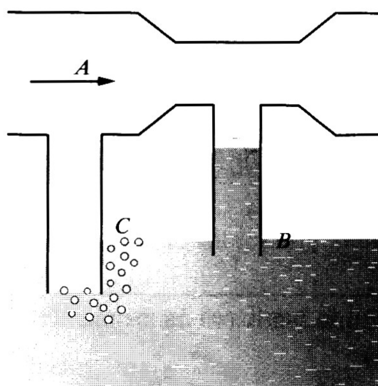
9.34. Vandens greitis siaurojoje vamzdžio dalyje lygus 3 m/s. Apskaičiuokite, kokiu greičiu vanduo teka plačiąja vamzdžio dalimi, turėdami omenyje, kad siaurosios ir plačiosios dalies skerspjūvio plotas atitinkamai lygus 300 cm^2 ir 900 cm^2.

9.35. Kaip paaiškintumėte, kodėl du laivai, stovėdami tekančiame vandenyje vienas šalia kito nuleistais inkarais, suartėja?

9.36. Vėjas pučia išilgai gatvės *AB*. Kodėl jis kyla ir šoninėse gatvėse? Pavaizduokite vėjo kryptį brėžinyje (9.8 pav.).



9.8 pav.



9.9 pav.

9.37. Pro vamzdį *A* tam tikru greičiu pučiant orą, vamzdeliu *B* ims kilti vanduo, o iš vamzdelio *C* oras išeis burbuliukais (9.9 pav.). Paaiškinkite šį reiškinį.

9.38. Dažų purkštuvo kompresoriuje sudaromas 2,4 atm slėgis. Dažų tankis lygus 0,8 g/cm^3. Kokiu greičiu dažai išmetami iš purkštuvo?

9.39. Kokiu greičiu vandens srovė teka pro kiaurymę, esančią vertikalaus vamzdžio sienelėje, kai vandens lygis virš kiaurymės pastovus ir lygus 5 m?

9.40. Horizontalaus vamzdžio siaurojoje dalyje vandens greitis 8 m/s, o slėgis 25 N/cm^2. Koks slėgis bus toje vamzdžio dalyje, kurios skerspjūvio plotas du kartus didesnis?

9.41. Oro greitis horizontaliame 10 cm^2 skerspjūvio ploto vamzdelyje lygus 1 m/s. Kam lygus jo greitis siauresnėje 0,5 cm^2 skerspjūvio ploto dalyje?

9.42. *F* dydžio jėga veikia švirkšto stūmoklį, kurio skerspjūvio plotas *S*. Skylutės skerspjūvio plotas yra S_0. Apskaičiuokite čiurkšlės greitį, kai skysčio tankis lygus ρ.

10. Dujų dėsniai

Molekulinės kinetinės dujų teorijos pagrindinės lygtys	$p = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}^2$	
	$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$	$n = \frac{N}{V}$; $\bar{E}_k = \frac{m\bar{v}^2}{2}$.
	$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$
Dujų molekulių vidutinis kvadratinis greitis	$\bar{v}^2 = \frac{3RT}{M} = \frac{3kT}{m_0}$	
Idealiųjų dujų būvio dėsnis		
Klapeirono lygtis	$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$; $\frac{pV}{T} = \text{const.}$	
Klapeirono lygtis (vienam dujų moliui)	$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_{0M}}{T_0} = R = 8{,}314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$; $\frac{pV}{T} = R.$	
Mendelejevo ir Klapeirono lygtis	$pV = \frac{m}{M} RT$	

Izoterminiai procesai

Izoterminis procesas	Izobarinis procesas	Izochorinis procesas
Boilio ir Marioto dėsnis (T = const)	Gei-Liusako dėsnis (p = const)	Šarlio dėsnis
$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$; $pV = \text{const.}$	$V = V_0(1 + \alpha T)$; $\alpha = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$. $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$; $T = t + 273.$	$p = p_0(1 + \gamma T)$; $\gamma = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$. $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$.
p, Pa; 0; V, m³	V, m³; –273; 0; t, °C	p, Pa; –273; 0; t, °C

10.1 pavyzdys

Apskaičiuokite molekulių skaičių angliarūgštės dujose, kurių masė 4 kg, ir suraskite šių dujų vienos molekulės masę.

$m = 4$ kg	$M_{CO_2} = (12+32)10^{-3}\frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 44 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ $N_A = 6{,}023 \cdot 10^{23}\frac{1}{\text{mol}}$
$N - ?$ $m_0 - ?$	

Sprendimas

Angliarūgštės dujų masėje esančių molekulių skaičių randame pasinaudoję medžiagos kiekio lygtimis: $\nu = \frac{m}{M_{CO_2}}$ ir $\nu = \frac{N}{N_A}$. Spręsdami šias lygtis, gauname:

$N = \frac{m}{M_{CO_2}} N_A$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame molekulių skaičių:

$N = \frac{4\ \text{kg}}{44 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kg}}{\text{mol}}} 6{,}023 \cdot 10^{23}\frac{1}{\text{mol}} \approx 547 \cdot 10^{23}$. Molekulės masę randame iš lygties

$m_0 = \frac{M_{CO_2}}{N_A}$. $m_0 = \frac{44 \cdot 10^{-3}\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6{,}023 \cdot 10^{23}\frac{1}{\text{mol}}} \approx 7{,}3 \cdot 10^{-26}\text{kg}.$

Atsakymas. Angliarūgštės dujose yra 547 · 10^{23} molekulių, o vienos molekulės masė lygi 7,3 · 10^{-26} kg.

10.2 pavyzdys

Apskaičiuokite dujų molekulių koncentraciją normaliomis sąlygomis, kai slėgis 1,01 · 10^5 Pa, o temperatūra 0 °C.

$p = 1{,}01 \cdot 10^5$ Pa $t = 0$ °C; $T = 273$ K	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K
$n - ?$	

Sprendimas

Žinome, kad bet kokių idealiųjų dujų slėgis priklauso tik nuo molekulių koncentracijos ir temperatūros, todėl iš lygties $p = nkT$ randame dujų molekulių koncentraciją normaliomis sąlygomis: $n = \frac{p}{kT}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą: $n = \frac{1{,}01 \cdot 10^5\text{Pa}}{1{,}38 \cdot 10^{-23}\frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 273\,\text{K}} = 268 \cdot 10^{23}\text{m}^{-3}$.

Atsakymas. Normaliomis sąlygomis bet kurių dujų koncentracija lygi 268 · 10^{23} m^{-3}. Šis skaičius vadinamas Lošmidto skaičiumi ir nepriklauso nuo dujų prigimties.

Net ir labai mažame tūryje dujų molekulių skaičius yra milžiniškas. Pavyzdžiui, jeigu į 1 cm^3 tūrio indą, kuriame yra vakuumas, pro mikroskopinį plyšį kas sekundę skverbtųsi milijardas oro molekulių, iki normaliojo slėgio indas prisipildytų per 850 metų.

10.3 pavyzdys

Oras yra kelių rūšių dujų mišinys, tačiau sprendžiant kai kuriuos uždavinius jis gali būti laikomas vienalytėmis dujomis. Žinodami oro tankį normaliomis sąlygomis (ρ = 1,29 kg/m^3) ir remdamiesi 10.2 pavyzdžio rezultatu, apskaičiuokite vidutinę oro molekulės masę.

ρ = 1,29 kg/m^3	N_A = 6,022 · 10^{23} 1/mol
n = 268 · 10^{23} m^{-3}	M_{oro} = 29 · 10^{-3} kg/mol
$\bar{m}_0$ – ?	

Sprendimas

Pagal molekulių koncentracijos sąvokos apibrėžimą $n = \frac{N}{V}$; čia N – molekulių skaičius tūryje V, ir medžiagos tankio formulę $\rho = \frac{m}{V}$ galime užrašyti, kad $\rho = \frac{N\bar{m}_0}{V}$; čia m – oro masė tūryje V; $\bar{m}_0$ – vidutinė oro molekulės masė. Atlikę matematinius pertvarkius, gauname: $\rho = n\bar{m}_0$. Iš šios lygties išreiškiame $\bar{m}_0$:

$\bar{m}_0 = \frac{\rho}{n}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname: $\bar{m}_0 = \dfrac{1{,}29\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{268\cdot 10^{23}\text{m}^{-3}} = 4{,}81\cdot 10^{-26}\text{kg}.$

Oro molekulės masę galima apskaičiuoti ir kitokiu būdu – oro molio masę M padalijus iš Avogadro skaičiaus: $m_0 = \frac{M_{oro}}{N_A}$; $m_0 = \dfrac{29\cdot 10^{-3}\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{6{,}022\cdot 10^{23}\frac{1}{\text{mol}}} = 4{,}81\cdot 10^{-26}\text{kg}.$

Atsakymas. Oro molekulės masė lygi 4,81 · 10^{-26} kg.

10.4 pavyzdys

Apskaičiuokite deguonies tankį, kai temperatūra lygi 300 K, o slėgis 1,6 · 10^5 Pa. Kokia yra 200 m^3 deguonies masė tomis sąlygomis?

V = 200 m^3	$R = 8{,}314\frac{J}{\text{mol}\cdot\text{K}}$
T = 300 K	$M = M_{O_2} = 32\cdot 10^{-3}\text{kg/mol}$
p = 1,6 · 10^5 Pa	$\rho_0 = 1{,}43\,\text{kg/m}^3$
	p_0 = 1,013 · 10^5 Pa
	T_0 = 273 K
ρ – ? m – ?	

Sprendimas

Pasinaudosime dujų būsenos lygtimi ir medžiagos tankio formulėmis: $\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}$; $\rho = \frac{m}{V}$; $\rho_0 = \frac{m}{V_0}$. Lygtis pertvarkome taip: $\rho = \frac{T_0\rho_0}{p_0}\frac{p}{T}$; $m = \rho V$.

Įrašę skaitines vertes, apskaičiuojame deguonies tankį tomis sąlygomis ir 200 m^3 tūrio deguonies masę:

$$\rho = \frac{273\,\text{K}\cdot 1{,}43\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 1{,}6\cdot 10^5\,\text{Pa}}{1{,}013\cdot 10^5\,\text{Pa}\cdot 300\cdot \text{K}} \approx 2{,}05\frac{\text{kg}}{\text{m}^3};\quad m = 2{,}05\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 200\,\text{m}^3 = 410\,\text{kg}.$$

Taikysime Mendelejevo ir Klapeirono lygtį $pV = \frac{m}{M}RT$. Iš jos išplaukia, kad $m = \frac{MpV}{RT}$; $\rho = \frac{Mp}{RT}$. Įrašę skaitines vertes, gauname:

$$m = \frac{1{,}6\cdot 10^5\,\text{Pa}\cdot 200\,\text{m}^3\cdot 32\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{8{,}314\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\cdot 300\,\text{K}} = 410\,\text{kg};\quad \rho = \frac{32\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\cdot 1{,}6\cdot 10^5\,\text{Pa}}{8{,}314\,\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\cdot 300\,\text{K}} = 2{,}05\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Atsakymas. Kai temperatūra yra 300 K ir slėgis $1{,}6\cdot 10^5$ Pa, deguonies tankis lygus 2,05 kg/m^3, o 200 m^3 deguonies masė – 410 kg.

10.5 pavyzdys

Inde yra idealiosios dujos, kurių masė m_1, slėgis p_1, temperatūra T_1. Iš indo išleidžiama 10 % dujų, o likusiųjų dujų absoliučioji temperatūra padidinama 20 %. Raskite, kiek kartų pakito dujų slėgis inde.

m_1
p_1
T_1
$m_2 = 0{,}9m_1$
$T_2 = 1{,}2T_1$

$\frac{p_2}{p_1}$ – ?

Sprendimas

Dujų būviams inde taikome Klapeirono lygtį, todėl šias būsenas apibūdiname taip:

$$\begin{cases} p_1V = \frac{m_1}{M}RT_1, \\ p_2V = \frac{m_2}{M}RT_2. \end{cases}$$

Šią lygčių sistemą matematiškai pertvarkę, gauname:

$\frac{p_2}{p_1} = \frac{m_2T_2}{m_1T_1}$. Įrašome sąlygoje pateiktus duomenis: $\frac{p_2}{p_1} = \frac{0{,}9m_1\cdot 1{,}2T_1}{m_1T_1} = 1{,}08.$

Atsakymas. Dujų slėgis inde pakito 1,08 karto.

10.6 pavyzdys

Vandenilis laikomas 12 l talpos balione –3 °C temperatūroje. Balioną įnešus į 27 °C temperatūros patalpą ir dujoms sušilus, prie jo prijungtas manometras rodo, kad slėgis padidėjo 2 atm. Kokį slėgį rodė manometras iš pradžių ir vėliau?

$V = 12\ \text{l} = 12\cdot 10^{-3}\ \text{m}^3$
$t_1 = -3$ °C; $T_1 = 270$ K
$t_2 = 27$ °C; $T_2 = 300$ K
$\Delta p = 2\ \text{atm} = 2\cdot 0{,}98\cdot 10^5$ Pa

p_1 – ? p_2 – ?

Sprendimas

Vandenilio plėtimosi, temperatūrai nedaug pakilus, galime ir nepaisyti. Vadinasi, procesas bus izochorinis ir pagal Šarlio dėsnį: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$. Iš čia $p_1 = \frac{\Delta p}{\Delta T}T_1$; $p_2 = \frac{\Delta p}{\Delta T}T_2$.

Įrašę į formules fizikinių dydžių skaitines vertes, gauname:

$$p_1 = \frac{2\cdot 0{,}98\cdot 10^5\,\text{Pa}\cdot 270\,\text{K}}{30\,\text{K}} = 17{,}64\cdot 10^5\,\text{Pa};\quad p_2 = \frac{2\cdot 0{,}98\cdot 10^5\,\text{Pa}\cdot 300\,\text{K}}{30\,\text{K}} = 19{,}6\cdot 10^5\,\text{Pa}.$$

Atsakymas. Manometras rodė $17{,}64\cdot 10^5$ Pa ir $19{,}6\cdot 10^5$ Pa slėgį.

10.7* pavyzdys

Koks yra angliarūgštės dujų molekulių vidutinis kvadratinis greitis ir molekulių vidutinė slenkamojo judėjimo kinetinė energija normaliomis sąlygomis bei 100 °C temperatūroje?

$t_0 = 0$ °C; $T_0 = 273$ K	$\rho_0 = 1{,}98\ \text{kg/m}^3$
$t_1 = 100$ °C; $T_1 = 373$ K	$M = M_{CO_2} = (12+32)10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}} = 44\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$
$p_0 = 1{,}013\cdot 10^5$ Pa	$R = 8{,}314\,\frac{\text{J}}{\text{molK}}$
	$N_A = 6{,}023\cdot 10^{23}$ 1/mol

$\bar{v}_0 - ?$ $\bar{v}_1 - ?$ $\bar{E}_0 - ?$ $\bar{E}_1 - ?$

Sprendimas

Dujų molekulių vidutinis kvadratinis greitis normaliomis sąlygomis ir 100 °C temperatūroje randamas pagal formules: $\bar{v}_0 = \sqrt{\frac{3RT_0}{M}}$; $\bar{v}_1 = \sqrt{\frac{3RT_1}{M}}$. Vienos molekulės vidutinė slenkamojo judėjimo kinetinė energija apibūdinama taip:

$\bar{E}_0 = \frac{m_0\overline{v_0^2}}{2}$ ir $\bar{E}_1 = \frac{m_0\overline{v_1^2}}{2}$. Vienos molekulės masė apskaičiuojama pagal formulę $m_0 = \frac{M}{N_A}$. Įrašome žinomas fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame ieškomus dydžius:

$$\bar{v}_0 = \sqrt{\frac{3\cdot 8{,}314\,\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\,273\,\text{K}}{44\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}} \approx 392\,\frac{\text{m}}{\text{s}};\qquad \bar{v}_1 = \sqrt{\frac{3\cdot 8{,}314\,\frac{\text{J}}{\text{mol}\cdot\text{K}}\,373\,\text{K}}{44\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}} \approx 460\,\frac{\text{m}}{\text{s}};$$

$$\bar{E}_0 = \frac{44\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\left(392\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2\cdot 6{,}023\cdot 10^{23}\,\frac{1}{\text{mol}}} = 5{,}6\cdot 10^{-21}\,\text{J};\quad \bar{E}_1 = \frac{44\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\left(460\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2\cdot 6{,}023\cdot 10^{23}\,\frac{1}{\text{mol}}} = 7{,}72\cdot 10^{-21}\,\text{J}.$$

Atsakymas. CO_2 molekulių vidutinis kvadratinis greitis normaliomis sąlygomis lygus 392 m/s, o 100 °C temperatūroje – 460 m/s. Vidutinė molekulės slenkamojo judėjimo energija 0 °C ir 100 °C temperatūroje yra $5{,}6\cdot 10^{-21}$ J ir $7{,}72\cdot 10^{-21}$ J.

10.8* pavyzdys

Kokios masės ir svorio yra oras kambaryje naktį, kai temperatūra 7 °C, ir dieną, kai temperatūra 25 °C? Kambario tūris $10 \times 8 \times 4$ m^3, atmosferos slėgis normalus ir per parą nekinta.

$V = 10 \times 8 \times 4\ \text{m}^3 = 320\ \text{m}^3$
$t_1 = 7\ °\text{C}; \quad T_1 = 280\ \text{K}$
$t_2 = 25\ °\text{C}; \quad T_2 = 298\ \text{K}$
$\rho_0 = 1{,}29\ \text{kg/m}^3$
$p_0 = 1{,}013 \cdot 10^5\ \text{Pa}$
$T_0 = 273\ \text{K}$

$m_1 - ?\ m_2 - ?\ P_1 - ?\ P_2 - ?$

Sprendimas

Pagal uždavinio sąlygą procesas yra izobarinis esant normaliam slėgiui, todėl abiem atvejais oro tankis lygus $\rho_1 = \dfrac{\rho_0 T_0}{T_1}$; $\rho_2 = \dfrac{\rho_0 T_0}{T_2}$. Oro masė ir svoris tomis sąlygomis apibūdinami lygtimis:

$$m_1 = V\rho_0 \frac{T_0}{T_1};\ m_2 = V\rho_0 \frac{T_0}{T_2};\ P_1 = m_1 g;\ P_2 = m_2 g.$$

Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir gauname:

$$m_1 = \frac{320\ \text{m}^3 \cdot 1{,}29\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 273\ \text{K}}{290\ \text{K}} = 402\ \text{kg};\quad m_2 = \frac{320\ \text{m}^3 \cdot 1{,}29\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 273\ \text{K}}{298\ \text{K}} = 378\ \text{kg};$$

$$P_1 = 402\ \text{kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3935\ \text{N} \approx 3{,}9\ \text{kN};\quad P_2 = 378\ \text{kg} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 3700\ \text{N} = 3{,}7\ \text{kN}.$$

Atsakymas. Naktį oro masė lygi 402 kg ir jo svoris ≈ 3,9 kN, o dieną oro masė 378 kg ir svoris 3,7 kN.

10.9 pavyzdys

Suvirinimo ceche yra 30 acetileno balionų, kurių kiekvieno talpa 40 l. Visi balionai įjungti į bendrą magistralę. Po 12 h nuolatinio darbo slėgis nukrito nuo 13 atm iki 7 atm. Kiek acetileno buvo suvartojama per 1 s? Temperatūra ceche pastovi ir lygi 32 °C, acetileno molio masė – $26 \cdot 10^{-3}$ kg/mol.

$M = M_{C_2H_2} = (24 + 2) \cdot 10^{-3} \dfrac{\text{kg}}{\text{mol}} = 26 \cdot 10^{-3} \dfrac{\text{kg}}{\text{mol}}$
$p_1 = 13 \cdot 10^5\ \text{Pa}$
$V_1 = 30 \cdot 40 \cdot 10^{-3}\ \text{m}^3 = 1200 \cdot 10^{-3}\text{m}^3 = 1{,}2\ \text{m}^3$
$t_1 = 32\ °\text{C}; \quad T_1 = 305\ \text{K}$
$p_2 = 7 \cdot 10^5\ \text{Pa}$
$V_2 = V_1$
$T_2 = T_1$
$t = 12\ \text{h} = 43\,200\ \text{s}$

$\dfrac{\Delta m}{t} - ?$

Sprendimas

Mendelejevo ir Klapeirono lygtis pirmos ir antros būsenos dujoms užrašoma taip:

$$p_1V_1 = \frac{m_1}{M}RT_1; \; p_2V_1 = \frac{m_2}{M}RT_1.$$

Iš šių lygčių išreiškiame masę:

$$m_1 = \frac{p_1V_1M}{RT_1}; \; m_2 = \frac{p_2V_1M}{RT_1}.$$

Apskaičiuojame acetileno sąnaudas:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{p_1V_1M}{RT_1} - \frac{p_2V_1M}{RT_1} = \frac{(p_1 - p_2)VM}{RT_1}.$$

Per 1 s sunaudoto acetileno masė lygi: $\frac{\Delta m}{t} = \frac{(p_1 - p_2)VM}{RT_1 t}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame acetileno sąnaudas:

$$\frac{\Delta m}{t} = \frac{(13 \cdot 10^5\,\text{Pa} - 7 \cdot 10^5\,\text{Pa}) \cdot 1{,}2\,\text{m}^3 \cdot 26 \cdot 10^{-3}\,\text{kg/mol}}{8{,}31\,\text{J/mol} \cdot \text{K} \cdot 305\,\text{K} \cdot 43\,200\,\text{s}} = 0{,}17 \cdot 10^{-3}\,\text{kg/s}.$$

Atsakymas. Suvirinimo ceche acetileno sąnaudos per sekundę lygios $0{,}17 \cdot 10^{-3}$ kg/s.

10.10 pavyzdys

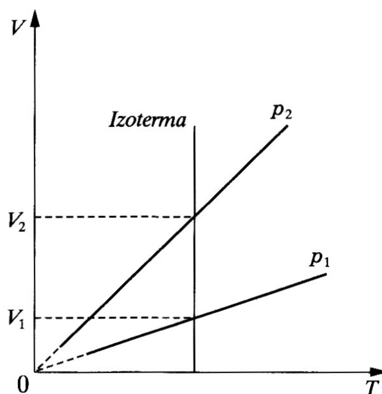
10.1 paveiksle pavaizduotos dvi izobaros, atitinkančios slėgį p_1 = const ir p_2 = const. Kuris slėgis yra didesnis?

Sprendimas

Grafike nubrėžiame izotermą (T = const). Izobarą, atitinkančią p_2 = const, ji kerta ties didesne tūrio verte negu izobarą, atitinkančią p_1 = const, t. y. $V_2 > V_1$. Pagal Boilio ir Marioto dėsnį $p_1V_1 = p_2V_2$, arba $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$.

Kadangi $V_2 > V_1$, tai $p_2 < p_1$.

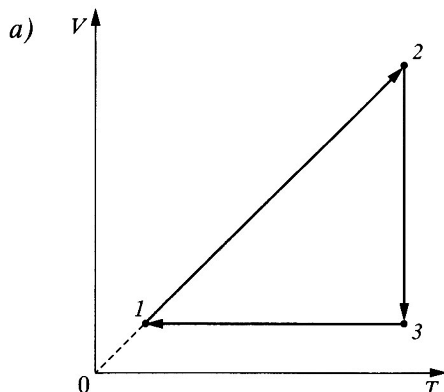
Atsakymas. Pirmosios izobaros slėgis didesnis ($p_1 > p_2$).

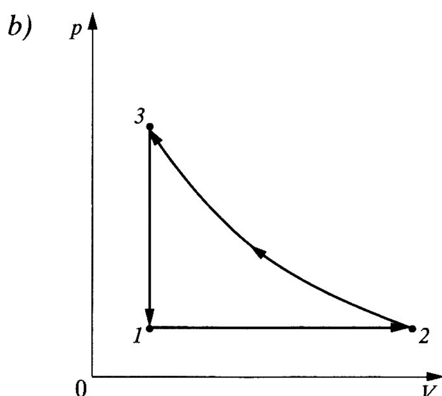


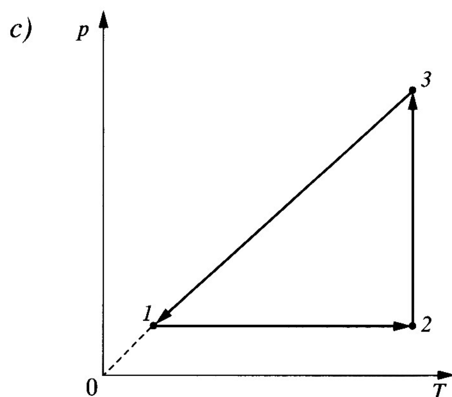
10.1 pav.

10.11 pavyzdys

10.2, *a* paveiksle pateiktas idealiųjų dujų būsenos kitimo grafikas *V*, *T* koordinačių sistemoje. Pavaizduokite šį procesą *p*, *V* ir *p*, *T* koordinačių sistemose.







10.2 pav.

Sprendimas

Sprendžiant tokio pobūdžio uždavinį, pirmiausiai reikia išsiaiškinti, kaip kinta dujų būsenos parametrai atskirose grafiko dalyse ir kiekvienai grafiko daliai pritaikyti idealiųjų dujų dėsnius.

1 → *2* dalyje: p = const – procesas izobarinis (*V* ir *T* didėja);

2 → *3* dalyje: T = const – procesas izoterminis (*V* mažėja, *p* didėja);

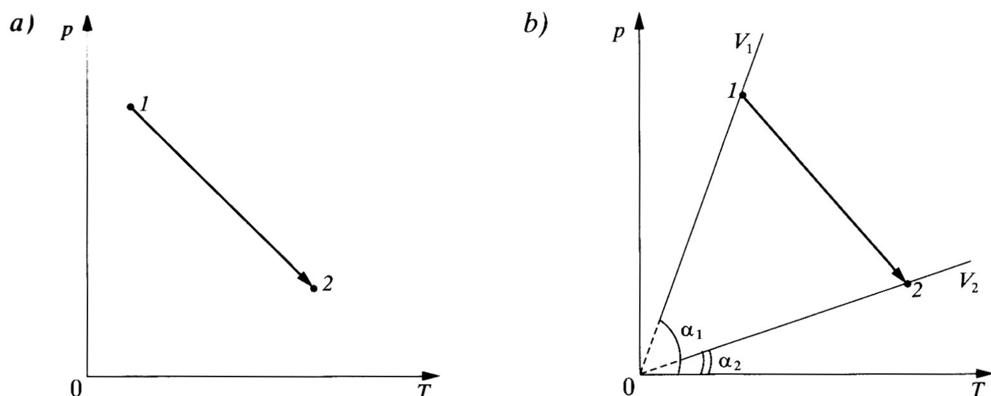
3 → *1* dalyje: V = const – procesas izohorinis (*T* ir *p* mažėja).

Dabar belieka nubraižyti uždaro proceso grafikus atskirose *p*, *V* (10.2, *b* pav.) ir *p*, *T* (10.2, *c* pav.) sistemose.

10.12 pavyzdys

Kaitinamos dujos perėjo iš *1* būsenos į *2* būseną. Kaip pakito jų tūris, jeigu masė liko ta pati (10.3 pav., *a*)?

Sprendimas



10.3 pav.

Šiame uždavinyje pirmiausia per taškus *1* ir *2* nubrėžiame izochoras (10.3 pav., *b*). Per tašką *2* einanti izochora su abscisių ašimi sudaro mažesnį kampą α_2 negu izochora, einantį per tašką *1* ($\alpha_2 < \alpha_1$).

Remdamiesi dujų būvio lygtimi $\frac{pV}{T} = \text{const}$, gauname: $\frac{p}{T} = \frac{\text{const}}{V}$. Iš 10.3 paveikslo, *b*, matyti, kad $\frac{p}{T} = \text{tg}\alpha$; čia α – tiesės posvyrio į abscisių ašį kampas. Vadinasi, $\text{tg}\alpha = \frac{\text{const}}{V}$. Kuo tūris mažesnis, tuo kampas α didesnis. Darome išvadą, kad $V_1 < V_2$.

Atsakymas. Dujas kaitinant, jų tūris padidėjo.

10.13 pavyzdys

Kol oro burbuliukas nuo ežero dugno pakilo iki paviršiaus, jo tūris trigubai padidėjo. Kokio gylio tas ežeras?

$V_2 = 3V$	$p_{\text{atm}} = 1 \cdot 10^5$ Pa
	$\rho = 10^3$ kg/m^3
	$g = 9{,}8$ m/s^2
h – ?	

Sprendimas

Žinodami, kad vandens slėgis į ežero dugną apibūdinamas lygtimi $p = \rho g h$, užrašome burbuliuko būseną ežero dugne: $m_1 = m$; $p_1 = p_{\text{atm}} + \rho g h$; $V_1 = V$; $T_1 = T$, o paviršiuje: $m_2 = m$; $p_2 = p_{\text{atm}}$; $V_2 = 3V$; $T_2 = T$. Taikome Boilio ir Marioto dėsnį (nes dujų masė ir temperatūra nekinta) $p_1V_1 = p_2V_2$. Pastarąją lygtį pritaikę oro burbuliukui, gauname: $(p_{\text{atm}} + \rho g h)V = p_{\text{atm}}3V$. Lygtį matematiškai pertvarkę, gauname ežero

gylio išraišką: $h=\frac{3p_{atm}-p_{atm}}{\rho g}=\frac{2p_{atm}}{\rho g}$. Įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame ežero gylį: $h=\frac{2\cdot 10^5\,\text{Pa}}{10^3\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}=20\,\text{m}$.

Atsakymas. Ežero gylis 20 m.

10.14 pavyzdys

Cilindre, uždarytame stūmokliu, yra oras. Stūmoklio svoris 60 N, jo skerspjūvio plotas 20 cm², atmosferos slėgis 10^5 Pa. Kokio svorio svarstį reikia uždėti ant stūmoklio, kad cilindre esančio oro tūris sumažėtų perpus? Temperatūra pastovi, trinties nepaisome.

$P = 60$ N
$S = 20\ \text{cm}^2 = 20\cdot 10^{-4}\ \text{m}^2$
$p_0 = 10^5\,\text{Pa}$
$V_2 = 0{,}5\,V_1 = \frac{V_1}{2}$
$T_1 = T_2 = T$
$m_1 = m_2 = m$
$P_1 - ?$

Sprendimas

Prieš uždedant svarstį, cilindre esančio oro slėgis $p_1 = p_0 + \frac{P}{S}$ $\left(\frac{P}{S}\text{ – slėgis po stūmokliu}\right)$, o tūris lygus V_1. Uždėjus svarstį, slėgis cilindre bus $p_2 = p_0 + \frac{P}{S} + \frac{P_1}{S}$ $\left(\frac{P_1}{S}\text{ – svarsčio sudaromas slėgis}\right)$, o tūris $V_2 = \frac{V_1}{2}$. Kadangi uždavinio sąlygoje nurodoma, kad temperatūra yra pastovi, o masė nekinta, todėl taikome Boilio ir Marioto dėsnį $p_1V_1 = p_2V_2$, arba $\left(p_0 + \frac{P}{S}\right)V_1 = \left(p_0 + \frac{P}{S} + \frac{P_1}{S}\right)0{,}5\,V_1$. Pastarąją lygtį pertvarkę matematiškai ir įrašę fizikinių dydžių vertes, randame svarsčio svorį P_1: $P_1 = p_0S + P$; $P_1 = 10^5\ \text{Pa}\cdot 20\cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 + 60\ \text{N} = 260\ \text{N}$.

Atsakymas. Kad dujų tūris sumažėtų perpus, reikia uždėti 260 N svarstį.

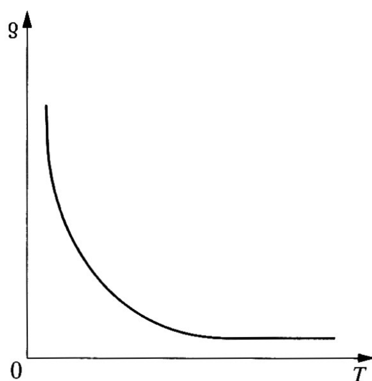
10.15 pavyzdys

Grafiškai pavaizduokite dujų tankio priklausomybę nuo temperatūros vykstant izobariniam procesui.

Sprendimas

Abi Mendelejevo Klapeirono lygties $pV = \frac{m}{M}RT$ puses dalijame iš tūrio V ir, matematiškai pertvarkę, gauname: $\rho = \frac{pM}{RT}$. Vadinasi, $\rho T = \frac{pM}{R}$ **(1)**.

Procesas izobarinis (p = const), tad dešinioji **1** lygties pusė yra pastovi, t. y. ρT = const. Remdamiesi šiais samprotavimais, nubrėžiame tokį grafiką, koks parodytas 10.4 paveiksle.



10.4 pav.

10.1. Kurios molekulės atmosferoje juda greičiau: deguonies ar azoto? Kodėl?

10.2. Kur daugiau molekulių: 50 m^3 tūrio kambaryje, kai atmosferos slėgis normalus ir temperatūra lygi 20 °C, ar 200 cm^3 tūrio vandens stiklinėje. Atsakymą pagrįskite.

10.3. Apskaičiuokite helio, azoto ir anglies dioksido dujų vidutinį kvadratinį greitį bei vidutinę slenkamojo judėjimo kinetinę energiją normaliomis sąlygomis.

10.4. Kodėl kriptono dujų, kurių pripildomos elektros lempos, slėgis turi būti mažas?

10.5. Kokia yra dujų temperatūra, kai jų slėgis 10 kPa, o molekulių koncentracija 10^{24} m^{-3}?

10.6. Vandenilio slėgis 100 kPa, o molekulių koncentracija 10^{25} m^{-3}. Apskaičiuokite vandenilio temperatūrą ir jo molekulių vidutinį kvadratinį greitį.

10.7. Į 500 cm^3 tūrio indą prileista dujų, kurių temperatūra 23 °C, o slėgis 180 mmHg. Kiek dujų molekulių yra inde?

10.8. Kada ledas gali būti šildytuvu? Atsakymą pagrįskite.

10.9. Ką molekulinės kinetinės teorijos požiūriu apibūdina absoliučioji temperatūra? Parašykite, kaip ji susijusi su Celsijaus temperatūra.

10.10. Kosminės medžiagos tankis lygus nuliui. Kokią temperatūrą rodys termometras atviroje kosminėje erdvėje? Kodėl?

10.11. Pagal šiuolaikinius molekulinės kinetinės teorijos duomenis atmosferoje yra molekulių, kurių greitis didesnis už pirmąjį kosminį greitį. Kokios dėl to galimos pasekmės?

10.12. Kuriuose atmosferos sluoksniuose oras artimesnis idealiosioms dujoms: prie žemės paviršiaus ar dideliame aukštyje? Atsakymą pagrįskite.

10.13. Staigiai stumtelėjus stūmoklį, cilindre esančio oro tūris sumažėjo penkis kartus. Ar galima teigti, kad oro slėgis cilindre padidėjo penkis kartus? Atsakymą pagrįskite.

10.14. Nubraižykite dujų izotermas šiose koordinačių ašyse: p, V; V, T ir p, T.

10.15. Kokia savybe pasižymi temperatūra? Apibūdinkite tai, remdamiesi molekuline kinetine teorija.

10.16. Dujinis termometras – tai prie stovo dugnu į viršų pritvirtinta ir kamščiu užkimšta kolba. Pro kamštį išvestas stiklinis vamzdelis, kurio apatinis galas įleistas į stiklinę su vandeniu. a) Kaip keisis vandens stulpelio aukštis vamzdelyje, keičiantis oro temperatūrai? b) Kodėl šio termometro parodymai nėra tikslūs? c) Kokio skysčio reikia įpilti į termometrą, kad jo parodymai būtų tikslesni?

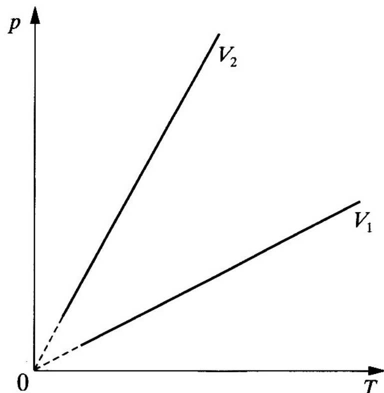
10.17. Ceche susikaupė vandens garų, chloro ir amoniako. Kur reikia įtaisyti ventiliatorių – prie lubų ar prie grindų? Atsakymą pagrįskite.

10.18. p, V koordinačių sistemoje nubraižykite šių medžiagų izotermas: a) 0,5 g vandenilio, kurio temperatūra 0 °C ir 100 °C; b) 15,5 g deguonies, kurio temperatūra 27 °C ir 190 °C.

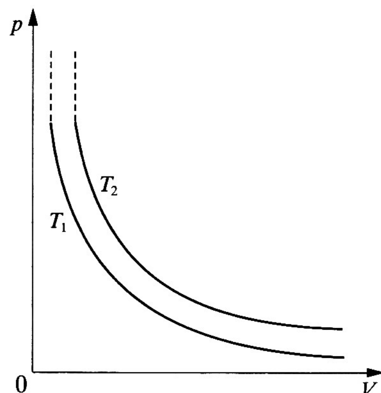
10.19. Kodėl pakaitinta medicininė taurė prisisiurbia prie kūno?

10.20. 40 l talpos balione yra 2,6 kg deguonies. Kokiai temperatūrai esant atsiranda pavojus, kad balionas gali sprogti, jeigu didžiausias leistinas slėgis yra $50 \cdot 10^5$ Pa?

10.21. Kuris iš grafikų (10.5 pav.), vaizduojančių tos pačios masės dujų izochorinius procesus, atitinka didesnį tūrį? Kodėl?



10.5 pav.



10.6 pav.

10.22. Kuris iš grafikų (10.6 pav.), vaizduojančių tos pačios dujų masės izoterminius procesus, atitinka aukštesnę temperatūrą? Kodėl?

10.23. Dyzelinio variklio cilindre oras suslegiamas nuo $0,8 \cdot 10^5$ Pa iki $30 \cdot 10^5$ Pa ir jo tūris sumažėja nuo 7,5 l iki 0,5 l. Iki kokios temperatūros įkaista oras suspaudimo takto pabaigoje, jeigu iš pradžių temperatūra būna 47 °C?

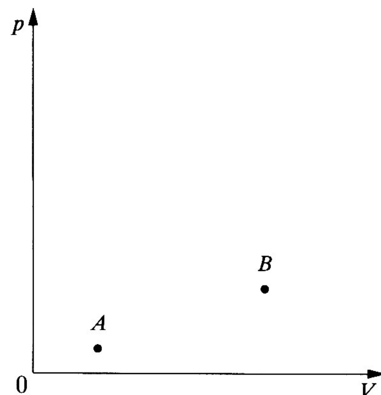
10.24. Metalų autogeniniam suvirinimui naudojamos vandenilio ir deguonies dujos. Jos laikomos 0,1 m^3 balionuose, pripildytuose iki $4 \cdot 10^5$ Pa slėgio 0 °C temperatūroje. Apskaičiuokite balione esančių dujų masę.

10.25. Dyzelinio variklio cilindre, baigiantis įsiurbimo taktui, įsiurbto oro temperatūra yra 40 °C, o slėgis – 80 kPa. Kokia bus oro temperatūra baigiantis suspaudimo taktui, kai slėgis padidės iki 3,5 MPa, o tūris sumažės 15 kartų?

10.26. Į elektros lempą gamykloje buvo prileista $5,065 \cdot 10^4$ Pa slėgio azoto 15 °C temperatūroje. Iki kokios temperatūros įkaito azotas lempai degant, jeigu slėgis pakilo iki $1,1 \cdot 10^5$ Pa?

10.27. Kodėl suslėgtų dujų balionai gali sprogti, o vamzdžiai su didelio slėgio dujomis šio pavojaus nekelia?

10.28. Taškai *A* ir *B* (10.7 pav.) vaizduoja dvi tos pačios masės dujų būsenas. Kuris taškas atitinka aukštesnę temperatūrą? Kokiais procesais vieną šių būsenų galima pakeisti kita?



10.7 pav.

10.29. Uždarame inde yra iki 400 kPa suslėgtų dujų. Koks slėgis bus šiame inde, atsukus čiaupą ir į aplinką ištekėjus $\frac{3}{4}$ dujų masės?

10.30. Balione buvo 12 kg dujų, kurių slėgis 10^7 Pa. Atsukus čiaupą, slėgis balione sumažėjo iki $2{,}5 \cdot 10^6$ Pa. Kiek dujų išleista iš baliono? Temperatūra nekito.

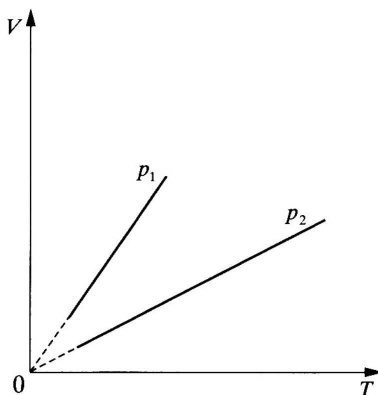
10.31. Dujų slėgis 4 l talpos inde lygus 200 kPa, o 6 l talpos inde – 100 kPa. Koks bus dujų slėgis, tuos indus sujungus? Temperatūra abiejuose induose vienoda ir nekinta.

10.32. Balione yra 35 l 20 MPa slėgio oro. Kokį tūrį vandens galima išstumti šio baliono oru iš povandeninio laivo cisternos, kai laivas yra 15 m gylyje?

10.33. Į 40 l talpos balioną kompresoriumi kas minutę įpumpuojama 4 m^3 atmosferos oro. Per kiek laiko balione susidarys 12 atm slėgis?

10.34. 200 cm^3 tūrio inde yra 755 mmHg slėgio oro. Iš indo jis pumpuojamas siurbliu, kurio kameros tūris 40 cm^3. Koks bus oro slėgis po keturių siurblio stūmoklio eigų?

10.35. 10.8 paveiksle pavaizduotos dvi izobaros, atitinkančios slėgį p_1 ir p_2. Kuris šių slėgių yra didesnis? Įrodykite tai.



10.8 pav.

10.36. Kokį tūrį užims dujos, kai jų temperatūra pakils iki 67 °C? Yra žinoma, kad 27 °C temperatūros šių dujų tūris lygus 5 l.

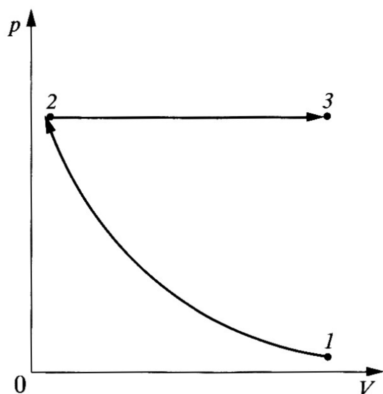
10.37. 27 °C temperatūros anglies dioksidas užima 560 cm^3 tūrį. Koks bus šių dujų tūris, kai temperatūra nukris iki 0 °C, o slėgis nepakis?

10.38. p, V koordinačių sistemoje nubraižykite izochorinių procesų grafikus, kai $V_1 = 5$ l, $V_2 = 3{,}5$ l.

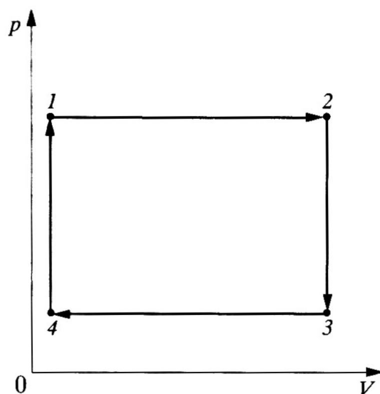
10.39. Kai temperatūra lygi 17 °C, dujų slėgis uždarame inde yra 60 kPa. Koks bus tų dujų slėgis, kai temperatūra nukris iki –17 °C?

10.40. Esant 0 °C temperatūrai, oro slėgis litavimo lempoje lygus $2{,}5 \cdot 10^5$ Pa. Koks bus oro slėgis lempoje, kai jos rezervuaras įšils iki 54 °C? Oro masė mažai kinta.

10.41. 10.9 paveiksle pateiktas idealiųjų dujų būsenos kitimo grafikas. Pavaizduokite jį koordinačių p, T bei V, T sistemose.



10.9 pav.



10.10 pav.

10.42. 10.10 paveiksle parodyta, kaip kinta tam tikro kiekio idealiųjų dujų būsena. Šį uždarą ciklą pavaizduokite koordinačių p, T bei V, T sistemose.

10.43. Normalaus atmosferos slėgio deguonis 250 K temperatūroje užima 500 l tūrį. Apskaičiuokite to deguonies masę.

10.44.* Kaip nustatyti dujų tankį, nematuojant jų tūrio ir masės? Dujų cheminę formulę laikykite žinoma.

10.45.* Apskaičiuokite atmosferos oro tankį 10 km aukštyje virš jūros lygio, kur temperatūra lygi – 43 °C, o slėgis $3 \cdot 10^4$ Pa. Jūros lygyje atmosferos sąlygos normalios.

10.46.* $2{,}2 \cdot 10^5$ Pa slėgio ir 13 °C temperatūros dujų tankis lygus 2,4 kg/m^3. Tų dujų molekulės sudarytos iš anglies ir vandenilio atomų. Kokios tai dujos?

10.47.* Kintant tam tikros masės dujų būsenai, jų slėgis mažėja, o temperatūra didėja. Kaip kinta dujų tūris? Atsakymą pagrįskite.

10.48. $7 \cdot 10^5$ Pa slėgio bei 290 K temperatūros dujos užima 0,5 m^3 tūrį. Kokioje temperatūroje tos dujos užims 1,8 m^3 tūrį sukeldamos $2{,}2 \cdot 10^5$ Pa slėgį?

10.49. 750 mmHg slėgio bei 16 °C temperatūros dujos užima 2 l tūrį. Kokį tūrį jos užims normaliomis sąlygomis?

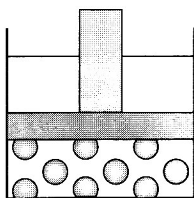
10.50. 1000 mmHg slėgio ir 15 °C temperatūros vandenilis užima 3 l tūrį. Kai vandenilis suslegiamas tiek, kad jo tūris pasidaro lygus 1,8 l, temperatūra pakyla iki 27 °C. Koks tada yra vandenilio slėgis?

10.51.* Dujų tūriui sumažėjus 1,6 karto, jų slėgis padidėjo 110 kPa, o absoliučioji temperatūra – 8 %. Koks buvo pradinis dujų slėgis?

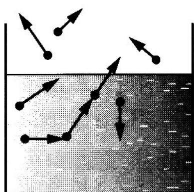
10.52.* Kiek oro (kilogramais) išeis iš 100 m^3 tūrio kambario, kai temperatūra jame pakils nuo 12 °C iki 27 °C? Atmosferos slėgis lygus 102 kPa.

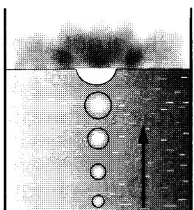
10.53. 1 l talpos inde yra 11 kg deguonies, kurio temperatūra lygi 12 °C. Apskaičiuokite to deguonies slėgį.

11. Garų savybės. Oro drėgmė



Dujos lengvai susispaudžia. Jos gali plėstis neribotai, neišlaiko formos ir tūrio.
Molekulės erdvėje juda dideliu greičiu šimtais metrų per sekundę.
Dujų molekulės, atsitrenkdamos į indo sieneles, sukelia slėgį dujose.



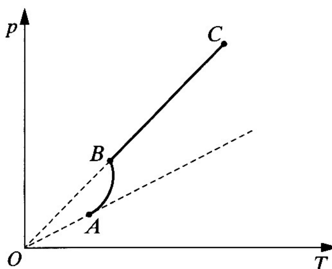


Garavimas – tai netvarkingai judančių molekulių, esančių skysčio paviršiuje, perėjimas iš skysčio į garus.
Skysčio garavimo sparta priklauso nuo skysčio rūšies, jo paviršiaus ploto, temperatūros ir papildomų faktorių (pvz., pūtimo, vėjo ir t. t.).
Virimas – tai skysčio virsmas garais skysčio viduje. Skysčio virimo sąlyga yra tokia:

$p_s \geq p_0 + \rho g h + \frac{2\sigma}{R}$; čia p_s – sočiųjų garų slėgis; p_0 – normalusis atmosferos slėgis; h – skysčio gylis; ρ – skysčio tankis; $\frac{2\sigma}{R}$ – Laplaso slėgis, σ – skysčio įtempimo koeficientas (randamas lentelėse); R – burbuliuko kreivumo spindulys.

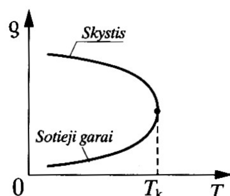
Kondensacija – molekulių grįžimas iš garų į skystį. Dinaminė pusiausvyra – reiškinys, kuriam esant iš skysčio išlekiančių molekulių skaičius lygus per tą patį laiką iš garų į skystį grįžtančių molekulių skaičiui.
Sotieji garai – tai garai, esantys dinaminėje pusiausvyroje su skysčiu.
Sočiųjų garų tankis – garų kiekis $1 m^3$ oro, kai skystis yra pusiausviras su savo garais: $\rho_0 = \frac{n}{V}$.
Sočiųjų garų slėgis – nuo tūrio nepriklausantis garų slėgis, kai skystis yra pusiausviras su savo garais.

$p_0 = nkT$; $p_0 = \frac{mRT}{MV}$.



Sočiųjų garų slėgio priklausomybė nuo temperatūros, priešingai nei pastovaus tūrio idealiųjų dujų priklausomybė, nėra tiesiogiai proporcinga. Temperatūrai kylant, sočiųjų garų slėgis didėja greičiau negu idealiųjų dujų (kreivės dalis *AB*). Taip yra todėl, kad kaitinant didėja sočiųjų garų koncentracija. Pagrindinis skirtumas tarp idealiųjų dujų ir sočiųjų garų yra tas, kad, kintant uždarame inde esančių garų temperatūrai, kinta garų masė. Dalis skysčio išgaruoja arba dalis garų kondensuojasi.
Kai visas skystis išgaruoja, toliau kaitinami garai nustoja būti sočiaisiais ir jų slėgis pasidaro tiesiogiai proporcingas absoliučiajai temperatūrai (kreivės dalis *BC*).

Oro drėgmė



Kylant skysčio temperatūrai, didėja sočiųjų garų slėgis, taip pat ir jų tankis. Skysčio, pusiausviro su savo garais, tankis, atvirkščiai, mažėja, nes kaitinamas skystis plečiasi. Skysčio kreivė leidžiasi žemyn, o garus atitinkanti kreivė kyla aukštyn. Esant kritinei temperatūrai T_k, abi kreivės susijungia – skysčio tankis pasidaro lygus garų tankiui.

Absoliučioji oro drėgmė – vandens garų kiekis, esantis 1 m^3 oro. Vandens garų dalinis slėgis – tai toks vandens garų slėgis, kuris būtų jeigu visų kitų dujų nebūtų.
$[p]$ = Pa; $[p]$ = mmHg.
Santykinė oro drėgmė – ore esančių vandens garų dalinio slėgio (p) ir oro temperatūros sočiųjų vandens garų slėgio (p_0) santykis, išreikštas procentais:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\,\%, \text{ arba } \varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\,\%.$$

Rasos taškas – tai temperatūra, kurioje garai virsta sočiaisiais. $[t_r]$ = °C; $[T_r]$ = K.

11.1 pavyzdys

Tarkime, oro temperatūra 25 °C, santykinė drėgmė 59 %. Raskite absoliučiąją drėgmę ir rasos tašką. Kiek vandens išsiskirtų iš kiekvieno kubinio metro oro, jeigu temperatūra nukristų iki 11 °C?

t = 25 °C
φ = 59 % = 0,59
t_1 = 11 °C
$V = 1$ m^3
Δm – ?

Sprendimas

Lentelėse randame, kad 25 °C temperatūroje sočiųjų garų tankis $\rho_0 = 23\ \text{g/m}^3$. Absoliučiąją drėgmę išreiškiame iš formulės $\rho = \varphi\rho_0$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą: $\rho = 0{,}59 \cdot 23\ \text{g/m}^3 = 13{,}6\ \text{g/m}^3$.

Sočiųjų vandens garų slėgio p ir tankio ρ priklausomybės nuo temperatūros lentelėje randame, kad 1 m^3 oro 16 °C temperatūroje yra prisotintas 13,6 g vandens. Tai ir bus rasos taškas.

11 °C temperatūroje sočiųjų garų tankis $\rho_{01} = 10\ \text{g/m}^3$. Tuomet išsiskyręs vandens kiekis rasos pavidalu bus lygus $\Delta m = (\rho_0 - \rho_{01})V$;
$\Delta m = (13{,}6\ \text{g/m}^3 - 10\ \text{g/m}^3) 1\ \text{m}^3 = 13{,}6\ \text{g}$.

Atsakymas. Iš kiekvieno kubinio metro oro išsiskirtų 13,6 g vandens.

11.2 pavyzdys

Kambario tūris 120 m^3, jo temperatūra 15 °C, santykinė drėgmė 60 %. Sočiųjų garų slėgis minėtoje temperatūroje 12,8 mmHg. Raskite kambario ore esančių vandens garų masę.

$V = 120\ m^3$
$t = 15\ °C$
$\rho_0 = 12{,}8\ mmHg = 1{,}68 \cdot 10^5\ Pa$
$\varphi = 60\ \% = 0{,}6$

$m - ?$

Sprendimas

Iš lentelių sužinome, kad 15 °C temperatūroje sočiųjų garų tankis yra $1{,}28 \cdot 10^{-2}\ kg/m^3$. Žinodami santykinę oro drėgmę, randame vandens garų kiekį kambaryje: $m = \rho V$. Kadangi $\rho = \varphi\rho_0$, tai $m = \varphi\rho_0 V$; $m = 0{,}6 \cdot 1{,}28 \cdot 10^{-2}\ kg/m^3 \cdot 120\ m^3 = 92{,}16 \cdot 10^{-2}\ kg = 0{,}92\ kg$.

Atsakymas. Nurodytomis sąlygomis kambario ore yra 0,92 kg vandens garų.

11.3 pavyzdys

Orui atvėsus nuo 16 °C iki 10 °C, iš kiekvieno jo kubinio metro išsiskyrė 1,5 g vandens. Kokia buvo santykinė oro drėgmė 16 °C temperatūroje?

$t_1 = 16\ °C$
$t_2 = 10\ °C$
$\frac{m}{V} = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\ kg/m^3$

$\varphi = ?$

Sprendimas

Pagal uždavinio sąlygą 10 °C temperatūroje oras buvo prisotintas vandens garų.

Lentelėje randame vandens garų, sotinančių orą 10 °C temperatūroje, tankį ρ_{01}: $\rho_{01} = 9{,}4 \cdot 10^{-3}\ kg/m^3$.

Prie jo pridėję iš kiekvieno kubinio metro oro išsiskyrusio vandens kiekį $\left(\frac{m}{V}\right)$, gauname garų tankį ore 16 °C temperatūroje, t. y. absoliučiąją oro drėgmę:

$\rho = \rho_{01} + \frac{m}{V}$. Radę lentelėje 16 °C temperatūroje orą sotinančių garų tankį $\rho_0 = 13{,}6 \cdot 10^{-3}\ kg/m^3$, apskaičiuojame santykinę oro drėgmę:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\ \%; \quad \varphi = \frac{\rho_{01} + \frac{m}{V}}{\rho_0} 100\ \%. \quad \varphi = \frac{9{,}4 \cdot 10^{-3}\ \frac{kg}{m^3} + 1{,}5 \cdot 10^{-3}\ \frac{kg}{m^3}}{13{,}6 \cdot 10^{-3}\ \frac{kg}{m^3}} 100\ \% = 80\ \%.$$

Atsakymas. Santykinė oro drėgmė 16 °C temperatūroje lygi 80 %.

11.4* pavyzdys

Koks yra vandens garų tankis 10 °C temperatūroje, jeigu tų garų slėgis lygus 1227 Pa?

$t = 10$ °C; $T = 283$ K
$p = 1227$ Pa
ρ – ?

Sprendimas

Norėdami rasti vandens garų tankį duotomis sąlygomis, taikome Mendelejevo ir Klapeirono lygtį:

$pV = \frac{m}{M}RT$. Padaliję abi lygties puses iš V, gauname: $p = \frac{\rho RT}{M}$. Iš čia ieškomas tankis

lygus $\rho = \frac{pM}{RT}$ ir $M = M_{H_2O} = 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3}$ kg/mol $+ 16 \cdot 10^{-3}$ kg/mol $= 18 \cdot 10^{-3}$ kg/mol.

Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą:

$$\rho = \frac{1227\,\text{Pa} \cdot 18 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}}{8{,}31\,\frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 283\,\text{K}} \approx 9{,}4 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Atsakymas. Vandens garų tankis nurodytomis sąlygomis lygus $9{,}4 \cdot 10^{-3}$ kg/m^3.

11.5* pavyzdys

Vilniaus radijas pranešė, kad oro temperatūra dieną bus 20 °C, santykinė oro drėgmė 70 %, o naktį temperatūra sieks 10 °C. Nustatykite, ar iškris rasa? Jei taip, tai kiek vandens išsiskirs iš kiekvieno kubinio metro oro?

$t_1 = 20$ °C
$\varphi = 70\,\% = 0{,}7$
$t_2 = 10$ °C
$V = 1$ m^3
Δm – ?

Sprendimas

Ar iškris rasa, priklauso nuo dieną ore esančio vandens garų kiekio santykio su sočiųjų vandens garų kiekiu naktį. Jei dieną ore yra daugiau vandens garų nei reikia orui įsotinti naktį, rasa iškris, ir atvirkščiai.

Pirmiausia nustatysime, koks garų kiekis ore bus dieną. Iš lentelės sužinome, kad 20 °C temperatūros sočiųjų garų tankis $\rho_{01} = 17{,}3$ g/m^3. Tuomet dieną bus garų, kurių tankis $\rho_1 = \varphi \cdot \rho_{01}$. Įrašome reikšmes ir apskaičiuojame: $\rho_1 = 0{,}7 \cdot 17{,}3$ g/m$^3 = 12{,}11$ g/m^3. Lentelėje randame, kad naktį, kai temperatūra lygi 10 °C, sočiųjų vandens garų tankis $\rho_{02} = 9{,}4$ g/m^3. Tiek reikia garų, kad 10 °C temperatūros ore esantys vandens garai būtų sotūs. Taigi dieną garų bus daugiau nei reikia: $\rho_1 > \rho_{02}$. Vadinasi, rasa iškris, ir iš kiekvieno kubinio metro oro išsiskirs (susikondensuos) Δm vandens: $\Delta m = \Delta\rho V = (\rho_1 - \rho_{02})V$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname: $\Delta m (12{,}11\,\text{g/m}^3 - 9{,}4\,\text{g/m}^3) 1\,\text{m}^3 = 2{,}71\,\text{g}$;

Atsakymas. Rasa iškris. Iš kiekvieno kubinio metro oro susikondensuos 2,71 g vandens.

11.6* pavyzdys

Kai oro temperatūra 36 °C, sočiųjų vandens garų slėgis lygus 5,945 kPa. Kam lygi 1 m^3 oro masė? Santykinė oro drėgmė 80 %, slėgis normalus.

$t = 36$ °C; $T = 309$ K
$p_0 = 5{,}945$ kPa $= 5{,}945 \cdot 10^3$ Pa
$p = 101{,}3$ kPa $= 101{,}3 \cdot 10^3$ Pa
$\varphi = 80\ \% = 0{,}8$
$V = 1\ m^3$

m – ?

Sprendimas

Oro masė lygi sauso oro ir jame esančių vandens garų masių sumai: $m = m_1 + m_2$. Šias mases išreiškiame iš būsenos lygties: $m_1 = \frac{M_1 p_1 V}{RT}$ ir $m_2 = \frac{M_2 p_2 V}{RT}$. Vandens garų slėgis lygus $p_1 = \varphi p_0$. Sauso oro slėgis $p_2 = p - p_1 = p - \varphi p_0$. Tuomet drėgno oro tūrio vieneto masė bus lygi $m = \frac{M_1 \varphi p_0 V + M_2 (p - \varphi p_0) V}{RT}$;

čia $M_1 = M_{1(H_2O)} = 18 \cdot 10^{-3}$ kg/mol; $M_2 = M_{2(oro)} = 29 \cdot 10^{-3}$ kg/mol.

Įrašome reikšmes ir apskaičiuojame m:

$$m = \frac{18 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \cdot 0{,}8 \cdot 5{,}945 \cdot 10^3\,\text{Pa} \cdot 1\text{m}^3 + 29 \cdot 10^{-3}\,\frac{\text{kg}}{\text{mol}}\,(101{,}3 \cdot 10^3\,\text{Pa} - 0{,}8 \cdot 5{,}945 \cdot 10^3\,\text{Pa})}{8{,}31\,\frac{\text{J}}{\text{molK}} \cdot 309\,\text{K}} \approx 1{,}12\ \text{kg}.$$

Atsakymas. Duotomis sąlygomis oro masė lygi apytiksliai 1,12 kg.

11.1. Kodėl vanduo atvirame inde visada būna vėsesnis už aplinkos orą?

11.2. Kodėl plaukikas, išėjęs iš vandens, jaučia šaltį, ypač pučiant vėjui?

11.3. Kodėl lyjant oras atvėsta?

11.4. Pelkėtose vietose karštą orą kęsti sunkiau negu sausose. Kodėl?

11.5. Paaiškinkite, kodėl, vilkint drabužiu, kurio sudėtyje yra gumos, sunkiau kęsti karštį.

11.6. Kodėl šaltu oru langų stiklai aprasoja tik iš kambario pusės?

11.7. Kodėl, nukritus oro temperatūrai kambaryje, juntama drėgmė?

11.8. Kaip susidaro rasa ir rūkas?

11.9. Kodėl po karštos dienos iškrinta gausiau rasos?

11.10. Kodėl apsiniaukusiu oru naktį nebūna rasos?

11.11. 6 m^3 oro 19 °C temperatūroje yra 51,3 g vandens garų. Apskaičiuokite absoliučiąją ir santykinę oro drėgmę.

11.12. Oro temperatūra 20 °C, rasos taškas 12 °C. Kokia yra absoliučioji ir santykinė oro drėgmė?

11.13. Oro temperatūra 23 °C, santykinė drėgmė 45 %. Raskite absoliučiąją oro drėgmę ir rasos tašką.

11.14. Kuriuo atveju santykinė oro drėgmė gali padidėti netgi sumažėjus absoliučiajai drėgmei?

11.15. Oro temperatūra patalpoje 25 °C, santykinė drėgmė 70 %. Kiek vandens išsiskirs iš kiekvieno kubinio metro oro, temperatūrai nukritus iki 16 °C?

11.16. Vakare paežerėje oro temperatūra 18 °C, santykinė drėgmė 75 %. Kokioje temperatūroje paryčiais turėtų susidaryti rūkas?

11.17. Oro temperatūra 22 °C, santykinė drėgmė 60 %. Ar atsiras rasa, temperatūrai nukritus iki 16 °C? Iki 11 °C? Jeigu taip, kiek vandens išsiskirs iš kiekvieno kubinio metro oro?

11.18. 6 °C temperatūroje oro santykinė drėgmė lygi 55 %. Ar susidarys šerkšnas, temperatūrai nukritus iki –1 °C? iki –3 °C? Jeigu taip, kiek drėgmės išsiskirs iš vieno kubinio metro oro?

11.19. Temperatūrai nukritus nuo 27 °C iki 10 °C, iš kiekvieno kubinio metro oro išsiskyrė 8 g vandens. Kokia buvo santykinė oro drėgmė esant 27 °C temperatūrai?

11.20.* Kambaryje, kurio matmenys $6 \times 4 \times 3$ m^3, oro temperatūra yra 15 °C, santykinė drėgmė 80 %. Kiek vandens jame išsiskirs, temperatūrai nukritus iki 10 °C? Keliais laipsniais reikia pakelti oro temperatūrą, kad santykinė drėgmė sumažėtų iki 60 %?

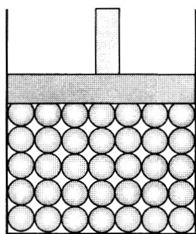
11.21.* Kiek vandens gali išgaruoti į kambarį, kurio matmenys $10 \times 8 \times 4{,}5$m^3, jeigu: a) oro temperatūra 22 °C, o santykinė drėgmė 70 %; b) oro temperatūra 25 °C, o rasos taškas 11 °C?

11.22.* Koks yra vandens tankis 29 °C ir 70 °C temperatūroje, jeigu tų garų slėgis atitinkamai lygus 4 kPa ir 31,4 kPa?

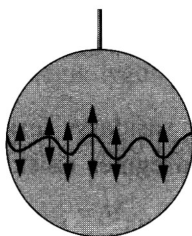
11.23.* Koks yra vandens garų slėgis 18 °C, 29 °C, 50 °C temperatūroje, jeigu tų garų tankis atitinkamai lygus $15{,}4 \cdot 10^{-6}$ g/m^3; 0,0258 g/dm^3; 83,2 g/m^3?

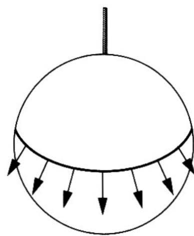
11.24.* Oro burbuliukas, kurio skersmuo 0,1 mm, yra 2 m gylyje. Apskaičiuokite slėgį burbuliuke, kai atmosferos slėgis normalus. Vandens paviršiaus įtempimo koeficientas lygus 0,073 N/m.

12. Skysčio paviršiaus savybės



Skysčio molekulės yra viena šalia kitos; skysčio spūdumas mažas. Skysčiai yra takūs, jie neišlaiko savo formos (įgyja formą indo, kuriame yra), bet išlaiko pastovų tūrį.



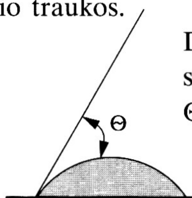


Skysčio paviršius būna stabilios pusiausvyros, kai jo potencinė energija minimali. Mažiausią potencinę energiją įgyja skysčiai, kurių paviršiaus plotas yra mažiausias, t. y. rutulio formos. Todėl šią formą stengiasi įgyti lietaus ir rasos lašai, gyvsidabrio lašeliai ant stiklo ir t. t.

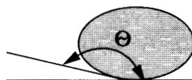
Jėga, kuria besistengiantis susitraukti skysčio paviršius veikia jį ribojantį kontūrą, vadinama paviršiaus įtempimo jėga.

Paviršiaus įtempimo koeficientas – tai fizikinis dydis, lygus jėgos $\vec{F}$, kuria skysčio paviršius veikia kontūrą, santykiui su to kontūro ilgiu l: $\sigma = \frac{F}{l}$; $[\sigma] = \frac{\text{N}}{\text{m}}$.

Drėkinimas – tai reiškinys, kuris atsiranda dėl skysčių ir kietųjų kūnų molekulių tarpusavio traukos.

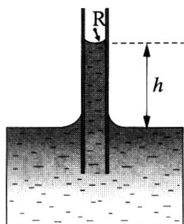


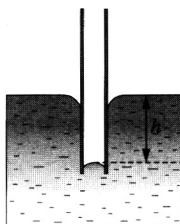
Drėkinančio skysčio sąlyčio kampas $\Theta < 90°$.



Nedrėkinančio skysčio sąlyčio kampas $\Theta > 90°$.

Kapiliariniai reiškiniai – tai skysčio pakilimas arba nusileidimas plonais vamzdeliais.

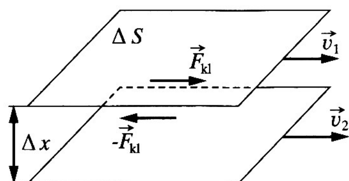




$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}$ – skysčio pakilimo kapiliariniame vamzdelyje formulė; σ – skysčio paviršiaus įtempimo koeficientas, ρ – skysčio tankis, R – kapiliaro spindulys, g = 9,8 m/s^2.

Skystis nustoja kilti kapiliaru tada, kai paviršiaus įtempimo jėga tampa lygi sunkio jėgai, veikiančiai pakilusio skysčio stulpelį: $2\pi R\sigma = mg$, bet $m = \rho V$; $V = Sh$ ir $S = \pi R^2$.

Skysčio sluoksnių judėjimas

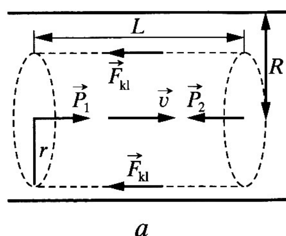


Tarp skysčių sluoksnių, judančių nevienodais greičiais, pasireiškia vidinė trintis, arba klampa, nes atsiranda jėgos, veikiančios skysčio paviršių liestinės kryptimi. Greičiau judantis sluoksnis veikia lėčiau judantįjį greitinančia jėga, o lėčiau judantysis veikia greitesnįjį stabdančia jėga. Vadinasi, klampos jėga tarp dviejų skysčio sluoksnių yra tiesiogiai proporcinga tų sluoksnių greičių skirtumui Δv, jų susilietimo plotui S ir atvirkščiai proporcinga atstumui tarp šių sluoksnių Δx: $F_{kl} = \eta \left|\frac{\Delta v}{\Delta x}\right| S$.

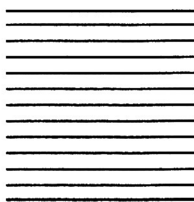
$$[\eta] = \frac{1\,\mathrm{N}}{1\,\mathrm{m}^2} \cdot \frac{1\,\mathrm{m}}{1\,\mathrm{m/s}} = 1\frac{\mathrm{Ns}}{\mathrm{m}^2} = 1\,\mathrm{Pa \cdot s}.$$

η vadinama dinaminės klampos koeficientu.

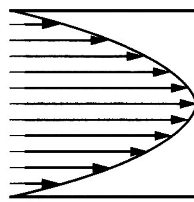
Skysčių klampa priklauso nuo temperatūros: temperatūrai kylant, klampa mažėja. Prietaisai klampai matuoti vadinami viskozimetrais.



a



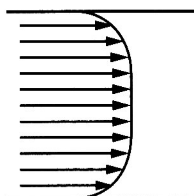
b



c



d



e

Paveiksle parodyta: skysčio tekėjimas vamzdžiu (*a*), laminarinis skysčio tekėjimas (*b*) ir jo greičių pasiskirstymas (*c*), turbulentinis tekėjimas (*d*) ir jo greičių vidurkių pasiskirstymas (*e*).

12.1 pavyzdys

Apskaičiuokite papildomą slėgį muilo burbule, kurio spindulys 2 cm. Muilo paviršiaus plėvelės įtempimo koeficientas 0,043 N/m.

$R = 2$ cm $= 2 \cdot 10^{-2}$ m
$\sigma = 0,043$ N/m

Δp – ?

Sprendimas

Papildomą slėgį muilo burbule randame iš lygties $\Delta p = \frac{4\sigma}{R}$. Burbulą riboja išorinis ir vidinis paviršius, todėl lygtyje rašome 4, o ne 2.

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, gauname: $\Delta p = \frac{4 \cdot 0,043 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{0,02\ \text{m}} = 0,86\ \text{Pa}.$

Atsakymas. Muilo burbule susidaro papildomas slėgis, lygus 0,86 Pa.

12.2 pavyzdys

Kokį darbą reikia atlikti norint išpūsti muilo burbulą, kurio skersmuo 4 cm? Muilo plėvelės įtempimo koeficientas 0,043 N/m.

$d = 4$ cm $= 4 \cdot 10^{-2}$ m
$\sigma = 0,043$ N/m

A – ?

Sprendimas

Atliktas darbas lygus skysčio paviršiaus laisvosios energijos pokyčiui: $A = \Delta E = 2\sigma\ \Delta S$; čia ΔS – vieno paviršiaus ploto pokytis.

Kadangi $\Delta S = 4\pi R^2$, tai darbas $A = 2\sigma\ 4\pi R^2 = 2\sigma\ \pi d^2$, nes $R = \frac{d}{2}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname ieškomą rezultatą:

$$A = 2 \cdot 0,043 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 3,14 \cdot 16 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2 = 432 \cdot 10^{-6}\ \text{J} = 432\ \mu\text{J}.$$

Atsakymas. Norint išpūsti nurodyto dydžio muilo burbulą, reikia atlikti 432 μJ darbą.

12.3 pavyzdys

Matuojant 288 K temperatūros muilo tirpalo paviršiaus įtempimo koeficientą, buvo naudojamas dinamometras ir 12 cm skersmens 20 g masės vielos žiedas. Žiedą atplėšiant nuo skysčio paviršiaus, dinamometras rodė 0,227 N jėgą. Kokia gauta paviršiaus įtempimo koeficiento reikšmė?

$d = 12$ cm $= 0,12$ m
$m = 20$ g $= 0,020$ kg
$g = 9,8$ m/s^2
$F = 0,227$ N

σ – ?

Sprendimas

Dinamometro spyruoklės tamprumo jėgą $\vec{F}$ atsveria žiedo sunkio jėga ir paviršiaus įtempimo jėgų, veikiančių žiedo išorinį ir vidinį apskritimą, atstojamoji, t. y. $F = mg + 2\pi\ d\sigma$. Iš šios lygties randame σ:

$\sigma = \frac{F - mg}{2\pi d}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes:

$$\sigma = \frac{0{,}227\ \text{N} - 0{,}02\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}12\ \text{m}} \approx 0{,}04\ \text{N/m}.$$

Atsakymas. Dinamometru išmatuotas paviršiaus įtempimo koeficientas lygus 0,04 N/m.

12.4* pavyzdys

Į kokį aukštį pakyla vanduo 0,20 mm skersmens stikliniame kapiliare? Sąlyčio kampas lygus 30°, temperatūra 288 K.

$\theta = 30°$	$g = 9{,}8\ \text{m/s}^2$
$d = 0{,}20\ \text{mm} = 2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}$	$\sigma = 0{,}072\ \text{N/m}$
	$\rho = 10^3\ \text{kg/m}^3$
h – ?	

Sprendimas

Skysčio pakilimo arba nusileidimo aukštis kapiliare apskaičiuojamas pagal formulę $h = \frac{2\sigma}{g\rho R}\cos\theta$ (**1**), jeigu skysčio meniskas yra sferos nuopjovos formos.

Jeigu laikoma, kad skystis visiškai drėkina (arba visiškai nedrėkina) kapiliaro sieneles, tai meniskas yra pussferės formos.

Tuomet sąlyčio kampas θ lygus nuliui (jeigu skystis drėkina) arba 180° (jeigu nedrėkina) ir aukščiui h apskaičiuoti taikome formulę $h = -\frac{2\sigma}{g\rho R}$ (**2**).

Į **2** formulę įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame vandens pakilimo aukštį stikliniu kapiliaru: $h = \frac{2 \cdot 0{,}072\ \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0{,}866}{9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 10^3\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \cdot 10^{-4}\ \text{m}} \approx 0{,}127\ \text{m}.$

Atsakymas. Vanduo stikliniu kapiliaru pakils apytiksliai 12,7 cm.

12.5* pavyzdys

Nustatykite, ar gali grunte ištirpusios medžiagos stiebų kapiliarais, kurių skersmenys mažesni už 0,1 mm, pasiekti 5 m aukštį. Tirpalų paviršiaus įtempimo koeficientas lygus 0,073 N/m. Ištirpusios medžiagos visiškai drėkina kapiliarus.

$d = 0{,}1\ \text{mm} = 1 \cdot 10^{-4}\ \text{m}$
$h = 5\ \text{m}$
$\sigma = 0{,}073\ \text{N/m}$
h – ?

Sprendimas

Tirpalo pakilimo kapiliarais aukštį randame iš lygties $h = \frac{2\sigma}{\rho g R} = \frac{4\sigma}{\rho g d}$ (**1**).

Tarkime, kad tirpalo tankis lygus vandens tankiui: $\rho = \rho_{H_2O} = 10^3$ kg/m^3.

Į **1** lygtį įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame, į kokį aukštį h pakils grunte ištirpusios medžiagos: $h = \dfrac{4 \cdot 0{,}073 \dfrac{\text{N}}{\text{m}}}{10^3 \dfrac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}8 \dfrac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \cdot 10^{-4}\ \text{m}} = 0{,}29$ m.

Atsakymas. Remdamiesi gautu rezultatu, darome išvadą, kad tirpalai 0,1 mm skersmens ir platesniais kapiliarais negali pakilti į 5 m aukštį. Vadinasi, kapiliarumas nėra pagrindinė sąlyga tirpalams patekti į lapus.

12.6* pavyzdys

Kokia energija išsilaisvina smulkiems $2 \cdot 10^{-3}$ mm spindulio vandens lašeliams susiliejant į vieną 2 mm spindulio lašą?

$R = 2$ mm $= 2 \cdot 10^{-3}$ m
$r = 2 \cdot 10^{-3}$ mm $= 2 \cdot 10^{-6}$ m

ΔW – ?

Sprendimas

Jeigu, lašeliams susiliejant į vieną lašą, paviršiaus plotas sumažėja dydžiu ΔS, tai paviršiaus sluoksnių potencinė energija pasikeičia dydžiu $\Delta W = \sigma\,\Delta S = \sigma(S_1 - S_2)$ (**1**);

čia S_1 – visų mažų lašelių paviršiaus plotas, S_2 – didelio lašo paviršiaus plotas, σ – vandens paviršiaus įtempimo koeficientas. Lašelių skaičių pažymėkime raide N, o didžiojo lašo masę – M. Tada $S_1 = 4\pi r^2 N$, $S_2 = 4\pi R^2$, o visų lašų masė M bus lygi $M = Nm$ (**2**).

Kadangi $m = \rho V_1 = \frac{4}{3}\rho\pi r^3$ ir $M = \rho V_2 = \frac{4}{3}\rho\pi R^3$, tai **2** lygtį parašome šitaip: $\frac{4}{3}N\rho\pi r^3 = \frac{4}{3}\rho\pi R^3$.

Iš čia $N = \frac{R^3}{r^3}$. Vadinasi, visų mažųjų lašelių paviršiaus plotą S_1 galima užrašyti tokia lygtimi: $S_1 = \frac{4\pi r^2 R^3}{r^3} = \frac{4\pi R^3}{r}$.

Įrašę S_1 ir S_2 išraiškas į **1** lygtį, gauname: $\Delta W = \sigma\left(\frac{4\pi R^3}{r} - 4\pi R^2\right) = 4\pi R^2 \sigma\left(\frac{R}{r} - 1\right)$.

Į pastarąją išraišką įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame energiją, išsilaisvinusią jungiantis vandens lašeliams į vieną didelį lašą:

$$\Delta W = 4 \cdot 3{,}14(2 \cdot 10^{-3}\ \text{m})^2 \cdot 7{,}4 \cdot 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}}\left(\frac{2 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}{2 \cdot 10^{-6}\ \text{m}} - 1\right) = 3{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{J} = 3{,}5\ \text{mJ}.$$

Atsakymas. Išsilaisvinusi energija lygi 3,5 mJ.

12.7* pavyzdys

Koks slėgis veikia orą $5 \cdot 10^{-3}$ mm spindulio burbuliuke, esančiame po vandens paviršiumi?

$R = 5 \cdot 10^{-3}$ mm $= 5 \cdot 10^{-6}$ m	$p_0 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Pa
p – ?	

Sprendimas

Oro slėgis burbuliuke $p = p_0 + p_p$ (**1**); čia p_0 – atmosferos slėgis, p_p – papildomas slėgis, kuris apibūdinamas formule $p_p = \frac{2\sigma}{R}$ (**2**), σ – vandens paviršiaus įtempimo koeficientas.

2 lygtį įrašome į **1** lygtį ir gauname, kad $p = p_0 + \frac{2\sigma}{R}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame: $p = 1{,}01 \cdot 10^5 \,\text{Pa} + \frac{2 \cdot 7{,}4 \cdot 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{m}}}{5 \cdot 10^{-6}\,\text{m}} = 130 \cdot 10^3\,\text{Pa} = 130\,\text{kPa}$.

Atsakymas. Duoto spindulio burbuliuke susidaro 130 kPa slėgis.

12.8* pavyzdys

To paties vamzdelio galuose išpūsti du muilo burbulai, vieno spindulys lygus 10 cm, kito – 5 cm. Kiek skiriasi slėgis jų viduje? Kaip keisis burbulų matmenys, jeigu nieko nebus daroma iš šalies?

$R_1 = 10$ cm $= 0{,}1$ m
$R_2 = 5$ cm $= 0{,}05$ m
Δp – ?

Sprendimas

Slėgis muilo burbule apibūdinamas formule $p = p_0 + p_p$ (**1**); čia p_0 – atmosferos slėgis; p_p – papildomas slėgis, kuris susidaro dėl kreivo muilo tirpalo paviršiaus sluoksnio ir užrašomas formule $p_p = \frac{2 \cdot 2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{R}$ (**2**), kur σ – muilo tirpalo paviršiaus įtempimo koeficientas. Daugiklis 2 rašomas todėl, kad muilo plėvelė turi du paviršius – išorinį ir vidinį. **2** išraišką įrašome į **1** lygtį ir gauname, kad $p = p_0 + \frac{4\sigma}{R}$ (**3**). **3** lygtį taikome atskirai pirmajam ir antrajam burbului:

$$p_1 = p_0 + \frac{4\sigma}{R_1}; \quad p_2 = p_0 + \frac{4\sigma}{R_2}.$$

Vadinasi, slėgių skirtumas juose lygus $\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{4\sigma(R_1 - R_2)}{R_1 R_2}$. Dabar įrašome fizikinių dydžių vertes ir gauname, kad $\Delta p = \frac{4 \cdot 4 \cdot 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{m}}(0{,}1\,\text{m} - 0{,}05\,\text{m})}{0{,}1\,\text{m} \cdot 0{,}05\,\text{m}} = 1{,}6\,\text{Pa}$.

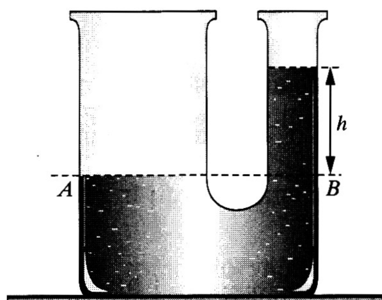
Atsakymas. To paties vamzdelio galuose išpūstų muilo burbulų slėgis skiriasi 1,6 Pa. Iš sprendimo matome, kad slėgis mažesniajame burbule yra didesnis negu didesniajame, todėl oras pereis iš mažesniojo burbulo į didesnįjį. Vadinasi, mažesniojo burbulo tūris mažės, o didesniojo – didės.

12.9* pavyzdys

Drėkinančio skysčio lygis U formos vamzdžio šakose skiriasi 23 mm (12.1 pav.). Vienos šakos kanalo skersmuo lygus 2 mm, kitos – 0,4 mm. Skysčio tankis 0,8 g/km^3. Apskaičiuokite paviršiaus įtempimo koeficientą.

h = 23 mm = $2{,}3 \cdot 10^{-2}$ m
D_1 = 2 mm = $2 \cdot 10^{-3}$ m
D_2 = 0,4 mm = $0{,}4 \cdot 10^{-3}$ m
$\rho = 0{,}8\ \text{g/cm}^3 = 0{,}8 \cdot 10^3\ \text{kg/m}^3$

σ – ?



12.1 pav.

Sprendimas

Užrašome susisiekiančiųjų indų skysčio pusiausvyros sąlygą: $p_A = p_B$ **(1)**; čia p_A ir p_B – AB lygio slėgis vienoje ir kitoje vamzdelio šakoje.

Nagrinėjamu atveju $p_A = p_0 - p_{p1}$ ir $p_B = p_0 - p_{p2} + p_h$; čia p_0 – atmosferos slėgis, o $p_{p1} = \frac{2\sigma}{R_1} = \frac{4\sigma}{D_1}$; $p_{p2} = \frac{2\sigma}{R_2} = \frac{4\sigma}{D_2}$ ir $p_h = \rho g h$. Pastarąsias slėgių išraiškas įrašę į skysčio pusiausvyros sąlygos **1** lygtį, gauname: $p_0 - \frac{4\sigma}{D_1} = p_0 - \frac{4\sigma}{D_2} + \rho g h$. Iš šios lygties išreiškiame skysčio įtempimo koeficientą: $\sigma = \frac{\rho g h D_1 D_2}{4(D - D_2)}$. Į šią lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, gauname:

$$\sigma = \frac{0{,}8 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9{,}8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 2{,}3 \cdot 10^{-2}\text{m} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\text{m} \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}{4(2 \cdot 10^{-3}\text{m} - 0{,}4 \cdot 10^{-3}\text{m})} = 2{,}25 \cdot 10^{-2}\text{N/m}.$$

Atsakymas. Drėkinančio skysčio paviršiaus įtempimo koeficientas lygus $2{,}25 \cdot 10^{-2}$N/m.

12.10* pavyzdys

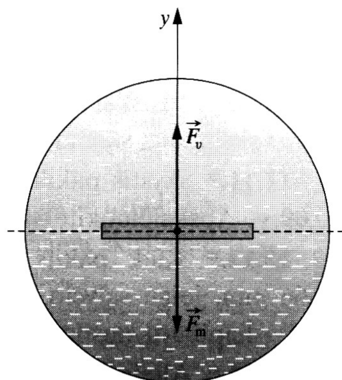
4 cm ilgio medžio strypelis plūduriuoja vandens paviršiuje. Vienoje strypelio pusėje atsargiai įpilama muilo tirpalo. Kokiu pagreičiu pradės judėti strypelis, jeigu jo masė 1 g? Į vandens pasipriešinimą judėjimui neatsižvelkite.

l = 4 cm = $4 \cdot 10^{-2}$ m	$\sigma_v = 7{,}4 \cdot 10^{-2}$ N/m
m = 1 g = $1 \cdot 10^{-3}$ kg	$\sigma_m = 4 \cdot 10^{-2}$ N/m

a – ?

Sprendimas

Plūduriuojantį vandenyje medžio strypelį veikia dvi jėgos: vandens $-\vec{F}_v$ ir muilo tirpalo paviršiaus įtempimo jėga $\vec{F}_m$ (12.2 pav.). Taikome antrąjį Niutono dėsnį: $\vec{F}_v + \vec{F}_m = m\vec{a}$. Pastarąją lygtį y ašies atžvilgiu perrašome skaliarine forma, t. y. $F_v - F_m = ma$. Matematiškai pertvarkę lygtį, gauname pagreičio išraišką: $a = \frac{F_v - F_m}{m}$ (**1**). Žinome, kad $F_v = \sigma_v l$, o $F_m = \sigma_m l$ (**2**); čia σ_v – vandens paviršiaus įtempimo koeficientas; σ_m – muilo paviršiaus įtempimo koeficientas. **2** lygtis įrašę į **1**, gauname pagreičio išraišką. Į ją įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame strypelio judėjimo pagreitį: $a = \frac{l(\sigma_v - \sigma_m)}{m}$;



12.2 pav.

$$a = \frac{4 \cdot 10^{-2}\,\text{m}\left(7{,}4 \cdot 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{m}} - 4 \cdot 10^{-2}\,\frac{\text{N}}{\text{m}}\right)}{1 \cdot 10^{-3}\,\text{kg}} = 1{,}36\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Atsakymas. Medžio strypelis judės 1,36 m/s^2 pagreičiu.

12.1. Paaiškinkite, kaip veikia knatas, marlinis tvarstis, sugeriamasis popierius.

12.2. Sausros metu žemės paviršiuje susidaro kieta pluta. Ar reikia ją saugoti, kad neišdžiūtų gilesni žemės sluoksniai? Atsakymą pagrįskite.

12.3. Kodėl teptuko plaukeliai vandenyje būna prasiskėtę, o ištraukus jį iš vandens sulimpa?

12.4. Kokio skysčio galima pripilti į stiklinę aukščiau kraštų? Atsakymą pagrįskite.

12.5. Spirito paviršiaus įtempimo koeficientui nustatyti buvo panaudotas 0,15 mm vidinio skersmens kapiliarinis vamzdelis. 293 K temperatūros spiritas jame pakilo 7,6 cm. Kokia paviršiaus įtempimo koeficiento reikšmė nustatyta šio bandymo metu?

12.6. Kiek kambario temperatūroje pakils vanduo ir žibalas ir kiek nusileis gyvsidabris kapiliariniu vamzdeliu, kurio kanalo skersmuo 0,20 mm?

12.7. Trijuose kapiliariniuose vamzdeliuose vanduo pakyla į 2,5 cm, 50 mm ir 80 mm aukštį. Apskaičiuokite tų kanalų skersmenis.

12.8.* Vandenį galima lašinti 0,4 mm skersmens pipete 0,01 g tikslumu. Kam lygus vandens paviršiaus įtempimo koeficientas?

12.9.* Kokį darbą reikia atlikti norint dvigubai padidinti muilo burbulo tūrį? Burbulo spindulys 1 cm, tirpalo paviršiaus įtempimo koeficientas 0,043 N/m.

12.10.* Visiškai nedrėkinama plieninė adata padėta ant vandens. Koks turi būti jos maksimalus skersmuo?

12.11.* Skystis pakilo kapiliaru, kurio spindulys 2 mm. Pakilusio skysčio masė 0,09 g. Apskaičiuokite skysčio paviršiaus įtempimo koeficientą.

12.12.* Kiek pakils eteris kapiliariniu vamzdeliu, kurio kanalo skersmuo 0,66 mm, jeigu sąlyčio kampas ties stiklo, eterio ir oro riba lygus 20°? Kiek tuo pačiu kapiliaru nusileis gyvsidabris, jeigu sąlyčio kampas lygus 155°?

12.13.* Aliejaus tankis 0,91g/cm^3. Lašinant pipete, kurios kakliuko skersmuo 1,2 mm, iš 4 cm^3 aliejaus gauti 304 lašai. Koks aliejaus paviršiaus įtempimo koeficientas?

12.14.* Kokios masės vandens lašas išlaša iš 1 mm skersmens stiklinio vamzdelio? Lašo skersmenį laikykite lygiu vamzdelio kakliulo skersmeniui.

12.15.* Vandenyje arti paviršiaus yra 0,002 mm skersmens oro burbuliukas. Apskaičiuokite šiame burbuliuke esančio oro tankį.

13. Kietųjų kūnų savybės

Kristaliniai kūnai, arba kristalai, – kietieji kūnai, kurių atomai ir molekulės yra išsidėstę tvarkingai.
Kristalų anizotropija (gr. *anisos* – nelygus + *tropos* – kryptis; savybė) – fizinių savybių priklausymas nuo krypties kristalo viduje:

a) mechaninis kristalų atsparumas įvairiomis kryptimis yra skirtingas,
b) šiluma ir elektros srovė įvairiomis kryptimis praleidžiama skirtingai,
c) optinės kristalų savybės taip pat priklauso nuo krypties.

Polikristalas (gr. *polys* – didelis, gausus + kristalas) – kietasis kūnas, sudarytas iš daugelio mažų kristalų, kurie netvarkingai orientuoti vienas kito atžvilgiu (pvz., metalai, cukrus).
Monokristalai (gr. *monos* – vienas, vienintelis, vientisas + kristalas) – pavieniai kristalai.
Kristalų defektai (lot. *defectus* – trūkumas, yda) – atomų išsidėstymo kristaluose pažeidimai.
Amorfiniai kūnai (gr. *amorphous* – beformis; neturintis kristalinės sandaros, nekristalinis kūnas) – juose atomai išsidėstę netvarkingai (pvz., stiklas, derva, plastmasės ir t. t.).
Deformacija (lot. *deformation* – formos pakeitimas; techn. kūno formos ir dydžio kitimas) – kietųjų kūnų formos ir matmenų pakitimas.

Deformacijos pavadinimas	Pavyzdys	Pastabos
Tempimas	l_0; $\vec{F}_{tampr}$; $\vec{F}_{iš}$; l; Δl	$\Delta l = l - l_0$, čia Δl – absoliutusis pailgėjimas; l_0 – pradinis ilgis; l – galutinis ilgis. $\varepsilon = \left\|\frac{\Delta l}{l_0}\right\|$; ε – santykinis pailgėjimas, $\varepsilon > 0$, nes $l > l_0$.
Gniuždymas	l_0; $\vec{F}_{iš}$; $\vec{F}_{tampr}$; l; Δl	$\varepsilon < 0$, nes $l < l_0$.
Šlytis	$\vec{F}_{iš}$; α	Pasisukimo kampas α tiesiogiai proporcingas veikiančios jėgos moduliui.

Deformacijos pavadinimas	Pavyzdys	Pastabos
Lenkimas		Sluoksnis AB tempiamas. Sluoksnis DC gniuždomas. Sluoksnis OO_1 (vidurinis) – neutralus.
	$\sigma = \frac{E}{S}$, $\sigma = E\lvert\varepsilon\rvert$, $F = \frac{E\lvert\Delta l\rvert}{l_0} S$, $k = \frac{ES}{l_0}$, $F = k\lvert\Delta l\rvert$.	Mechaninis įtempimas – tai fizikinis dydis, matuojamas tamprumo jėgos modulio ir skerspjūvio ploto santykiu. Huko dėsnis teigia, kad, veikiant mažoms deformacijoms, įtempimas tiesiogiai proporcingas santykiniam pailgėjimui.

Proporcingumo riba σ_p – tai didžiausias įtempimas, kuriam veikiant dar tinka Huko dėsnis.
Tamprumo riba σ_t – tai didžiausias įtempimas, kuriam veikiant dar neatsiranda liekamosios deformacijos.
Stiprumo (atsparumo) riba σ_{st} – tai įtempimas, kuriam veikiant kūnas nutrūksta.

13.1 pavyzdys

Prie vertikalaus plieninio strypo, kurio skerspjūvio plotas 2 cm^2, prikabintas 5 t masės krovinys. Kokia yra strypo stiprumo atsarga, jeigu plieno ardančioji apkrova lygi $12{,}5 \cdot 10^8$ Pa? Nustatykite strypo santykinį pailgėjimą. Į strypo masę neatsižvelkite.

$m = 5$ t $= 5 \cdot 10^3$ kg
$S = 2$ cm$^2 = 2 \cdot 10^{-4}$ m^2
$E = 2{,}2 \cdot 10^{11}$ Pa
$\sigma_a = 12{,}5 \cdot 10^8$ Pa
$g = 9{,}8$ m/s^2

n – ? ε – ?

Sprendimas

Stiprumo atsargą randame iš formulės $n = \frac{\sigma_a}{\sigma}$ (**1**), kurioje $\sigma = \frac{F}{S}$ (**2**). Iš uždavinio sąlygos matome, kad jėga $F = mg$, todėl $\sigma = \frac{mg}{S}$ (**3**). Vadinasi, $n = \frac{\sigma_a S}{mg}$.

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, gauname:

$$n = \frac{12{,}5 \cdot 10^8\ \text{Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2}{5 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 5{,}1.$$

Santykiniam pailgėjimui rasti naudojamės samprata, jog mechaninis įtempimas yra proporcingas santykiniam pailgėjimui: $\sigma = E|\varepsilon|$. Iš pastarosios lygties išreiškiame ε: $\varepsilon = \frac{1}{E}\sigma$. Į šią lygtį įrašome **3** išraišką ir gauname, kad $\varepsilon = \frac{mg}{ES}$. Dabar įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą:

$$\varepsilon = \frac{5 \cdot 10^3\ \text{kg} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2{,}2 \cdot 10^{11}\ \text{Pa} \cdot 2 \cdot 10^{-4}\ \text{m}^2} \approx 1{,}1 \cdot 10^{-3}.$$

Atsakymas. Strypo stiprumo atsarga apytiksliai lygi 5,1, o santykinis pailgėjimas apytiksliai lygus $1{,}1 \cdot 10^{-3}$.

13.2 pavyzdys

Atleisto plieno tamprumo riba lygi $57{,}2 \cdot 10^7$ Pa, Jungo modulis $19{,}6 \cdot 10^{10}$ Pa. Kokia susidarys deformacija – tamprioji ar liktinė, jeigu 3 m ilgio ir 1,2 mm² skerspjūvio ploto plieninė viela tempiama pailgės 8 mm? Kokio didumo jėga sukels tokią deformaciją?

$\sigma_t = 57{,}2 \cdot 10^7$ Pa
$E = 19{,}6 \cdot 10^{10}$ Pa
$l_0 = 3$ m
$\Delta l = 8\ \text{mm} = 8 \cdot 10^{-3}$ m
$S = 1{,}2\ \text{mm}^2 = 1{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2$

F – ?

Sprendimas

Deformacijos rūšį sužinosime, apskaičiavę vieloje susidariusį įtempimą σ ir jį palyginę su tamprumo riba σ_t. Taikome Huko dėsnį $\sigma = E|\varepsilon|$. Žinome, kad $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, todėl $\sigma = \frac{E\Delta l}{l_0}$.

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame įtempimą: $\sigma = \frac{19{,}6 \cdot 10^{10}\ \text{Pa} \cdot 8 \cdot 10^{-3}\ \text{m}}{3\ \text{m}} \approx 52{,}2 \cdot 10^7\ \text{Pa} \approx 5{,}22$ MPa.

Kadangi apskaičiuotas vielos įtempimas σ yra mažesnis už sąlygoje nurodytą tamprumo ribą $\sigma_t = 57{,}2 \cdot 10^7$ Pa, tai vielos deformacija bus tamprioji.

Žinodami įtempimą, lengvai randame vielą deformuojančią jėgą F:
$F = \sigma S$. Įrašome šių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame rezultatą:
$F = 52{,}2 \cdot 10^7\ \text{Pa} \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-6}\ \text{m}^2 \approx 6{,}26 \cdot 10^2\ \text{N} \approx 626$ N.

Atsakymas. Vielos deformacija bus tamprioji ir ją sukels jėga, apytiksliai lygi 626 N.

13.3 pavyzdys

Kiek pailgėjo 4 m ilgio ir 0,4 cm^2 skerspjūvio ploto žalvario strypas, veikiamas 1 kN jėgos? Žalvario tamprumo riba lygi $0{,}9 \cdot 10^{11}$ Pa.

$l_0 = 4$ m
$S = 0{,}4\ cm^2 = 4 \cdot 10^{-5}\ m^2$
$F = 1\ kN = 10^3\ N$
$E = 0{,}9 \cdot 10^{11}$ Pa

$\Delta l - ?$

Sprendimas

Iš Huko dėsnio formulės $F = \dfrac{E|\Delta l|}{l_0} S$ išreiškiame absoliutųjį pailgėjimą Δl: $\Delta l = \dfrac{Fl_0}{ES}$ (**1**); čia E – Jungo modulis, strypo įtempimas (žalvario tamprumo riba).

Į **1** formulę įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame, kokiu dydžiu pailgėjo žalvarinis strypas: $\Delta l = \dfrac{10^3 N \cdot 4\ m}{0{,}9 \cdot 10^{11} Pa \cdot 4 \cdot 10^{-5}\ m^2} \approx 1{,}1 \cdot 10^{-3}\ m \approx 1{,}1\ mm.$

Atsakymas. Žalvarinis strypas pailgėjo apytiksliai 1,1 mm.

13.4 pavyzdys

Kokio didumo išilginė apkrova nutrauks 1 cm skersmens plieninį lyną, jeigu plieno stiprumo riba lygi 1 GPa?

$d = 1\ cm = 10^{-2}\ m$
$\sigma_{st} = 1\ GPa = 10^9\ Pa$

$F_{st} - ?$

Sprendimas

Iš apibrėžimo žinome, kad stiprumo riba $\sigma_{st} = \dfrac{F_{st}}{S}$; čia S – plieninio lyno skerspjūvio plotas, kurį apskaičiuojame pagal matematinę formulę $S = \dfrac{\pi d^2}{4}$.

Vadinasi, ribinė apkrova, t. y. lyną veikianti jėga F_{st}: $F_{st} = \sigma_{st} S = \dfrac{\sigma_{st} \pi d^2}{4}$; įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame, kokio didumo apkrova nutrauks plieninį 1 cm skersmens lyną: $F_{st} = \dfrac{10^9\ Pa \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ m^2}{4} \approx 78{,}5 \cdot 10^3\ N \approx 78{,}5\ kN.$

Atsakymas. Plieninį lyną nutrauks jėga, apytiksliai lygi 78,5 kN.

13.1. Kokių rūšių deformacijos susidaro pastatų sienose, keliamojo krano trosuose, geležinkelio bėgiuose, mašinų velenuose, kerpamame popieriuje? Atsakymus išsamiai paaiškinkite.

13.2. Kurios rūšies deformacijai gerai priešinasi akmuo: gniuždymui, lenkimui, sukimui? Kokios rūšies deformacija veikia akmenį, įmūrytą sienoje, kolonoje, arkoje?

13.3. Kaip pasikeis įtempimas strype, jeigu jį įkaitinsime, neleisdami plėstis? Atsakymą pagrįskite.

13.4. Kodėl rėžtuvai negaminami iš stiklo, nors jų kietumas yra toks pat kaip ir įrankinio plieno?

13.5. Kokio didumo jėga, veikdama 0,40 cm skersmens strypą išilgai ašies, sukelia $15 \cdot 10^7$ Pa įtempimą?

13.6. Koks įtempimas susidaro 20 m aukščio plytinėje sienoje prie pagrindo? Ar vienodo stiprumo turi būti plytų mūras prie sienos pagrindo ir viršuje? Atsakymą pagrįskite.

13.7. Tempiant 4,0 mm^2 skerspjūvio ploto varinę vielą, liktinė deformacija buvo pastebėta, apkrovai pasiekus 320 N didumą. Apskaičiuokite vario tamprumo ribą.

13.8. Kokia mažiausia apkrova turi veikti 4,0 m ilgio ir 2,0 mm^2 skerspjūvio ploto žalvarinę vielą, kad atsirastų liktinė deformacija? Koks tada bus vielos santykinis pailgėjimas? Žalvario tamprumo riba lygi $1{,}1 \cdot 10^8$ Pa. Vielos masės nepaisome.

13.9. 2,0 mm^2 skerspjūvio ploto varinė viela nutrūko, veikiama 440 N apkrovos. Kokia yra vario stiprumo riba?

13.10. Vario tamprumo riba lygi $1{,}2 \cdot 10^8$ Pa, o stiprumo riba $2{,}2 \cdot 10^8$ Pa. Ar varis plastiškas, ar tamprus? Ar galima jį apdoroti naudojant šaltąjį štampavimą?

13.11. Ketaus stiprumo riba spaudžiant lygi $5{,}0 \cdot 10^8$ Pa, o tamprumo riba $6{,}0 \cdot 10^8$ Pa. Ar galima ketų štampuoti, valcuoti? Kodėl?

13.12. 5,0 m ilgio ir 2,5 mm^2 skerspjūvio ploto viela, veikiama 100 N jėgos, pailgėjo 1,0 mm. Apskaičiuokite jos įtempimą ir Jungo modulį.

13.13. 1 mm skersmens varinę vielą nutraukia 188,4 N apkrova. Kokia yra vario stiprumo riba, jį tempiant?

13.14.* Ant 3,0 cm^2 skerspjūvio ploto plieninio strypo užkabintas 7,5 t masės krovinys. Kokia yra stiprumo atsarga, jeigu tos markės plieno ardančioji apkrova $6{,}0 \cdot 10^8$ Pa? Į strypo masę neatsižvelgiama.

13.15.* Kokį krovinį reikia užkabinti ant spyruoklės, kurios tamprumas 1 kPa, kad ji pailgėtų 4,0 cm? Kokią potencinę energiją tada turės spyruoklė?

14. Šiluminiai reiškiniai. Termodinamikos dėsniai

Vidinė kūno energija

Dalelių kinetinės (judėjimo) ir jų potencinės (sąveikos) energijų suma vadinama vidine energija.

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT;$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}R\Delta T.$$

Vidinės kūno energijos kitimas

1. Atliekant darbą

$A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$;
A – darbas (J),
p – slėgis (Pa),
ΔV – tūrio pokytis (m^3).

2. Perduodant šilumą

$Q = mc(t_2 - t_1) = mc\Delta t$;
Q – šilumos kiekis (J),
m – masė (kg),
c – savitoji šiluma $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$,
Δt – temperatūros pokytis (°C).

Pirmasis termodinamikos dėsnis

Sistemos vidinės energijos pokytis, pereinant sistemai iš vieno būvio į kitą, yra lygus išorinių jėgų darbo ir sistemai perduoto šilumos kiekio sumai:

$$\Delta U = A + Q.$$

Šis dėsnis apibūdina sistemos termodinaminius procesus energijos tvermės dėsnio požiūriu, bet nenurodo proceso krypties.

Entropija. Antrasis termodinamikos dėsnis

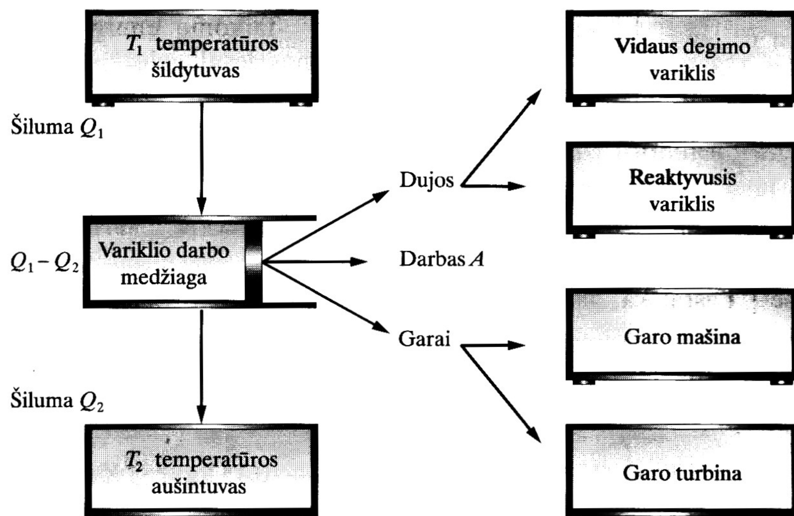
Entropija – tai fizikinis dydis, nurodantis termodinaminių procesų kryptį ir apibūdinantis sistemos būseną. Kūno entropijos pokytį apibrėžiame kaip to kūno įgyto arba atiduoto šilumos kiekio santykį su jo absoliučiąja temperatūra: $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$. Šilumai perėjus iš šiltesnio kūno į šaltesnįjį, abiejų kūnų entropija pasikeis dydžiu:

$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{\Delta Q_1}{T_1} - \frac{\Delta Q_1}{T_2} = \frac{\Delta Q_1(T_2 - T_1)}{T_1 T_2} > 0$. Iš šios lygties darome išvadą, kad, šilumai tekant iš šiltesnio kūno į šaltesnį, abiejų kūnų entropija didėja. Izoliuotos sistemos (nesikeičiančios su aplinka nei medžiaga, nei energija), kurioje vyksta grįžtamasis procesas, entropija nepakinta ($\Delta S = 0$), o vykstant negrįžtamajam procesui, – entropija didėja ($\Delta S > 0$).

Šilumos perdavimas iš karštesnių kūnų šaltesniems ir kūno judėjimo energijos virsmas vidine energija yra negrįžtamieji procesai.

Šiluminiai varikliai

Vidinė energija verčiama mechanine energija



Naudingumo koeficientas

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\ \%;$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\ \%.$$

Mašinos arba variklio naudingumo koeficientu vadinamas naudingo darbo ir viso atlikto darbo santykis.

14.1 pavyzdys

Į 0,15 kg masės žalvarinį kalorimetrą su 0,20 kg vandens, kurio temperatūra 15 °C, buvo įleistas 0,26 kg masės 100 °C temperatūros geležinis svarstis. Kokia nusistovėjo galutinė temperatūra? Šilumos nuostolių nepaisykite.

$m_s = 0{,}26$ kg	$c_s = 460$ J/kgK
$m_v = 0{,}20$ kg	$c_v = 4187$ J/kgK
$t = 100$ °C; $T = 373$ K	$c_k = 380$ J/kgK
$t_1 = 15$ °C; $T_1 = 288$ K	

$\theta - ?$

Sprendimas

Taikome energijos tvermės dėsnį: geležinio svarsčio atiduotas šilumos kiekis lygus vandens ir kalorimetro gautų šilumos kiekių sumai: $Q = Q_v + Q_k$ (**1**). $Q_s = c_s m_s (T - \theta)$ – svarsčio atiduotas šilumos kiekis (**2**);

$Q_v = c_v m_v (\theta - T_1)$ – vandens gautas šilumos kiekis (**3**);

$Q_k = c_k m_k (\theta - T_1)$ – kalorimetro gautas šilumos kiekis (**4**).

2, **3**, **4** lygtis įrašę į **1** išraišką, gauname: $m_s c_s (T - \theta) = (c_v m_v + c_k m_k)(\theta - T_1)$.

Iš pastarosios lygties išreiškiame galutinę temperatūrą θ:

$\theta = \dfrac{c_s m_s T + (c_v m_v + c_k m_k) T_1}{c_s m_s + c_v m_v + c_k m_k}$. Į šią lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes:

$$\theta = \frac{480\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}26\,\text{kg}\cdot 373\,\text{K} + \left(4187\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}2\,\text{kg} + 380\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}15\,\text{kg}\right)288\,\text{K}}{460\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}26\,\text{kg} + 4187\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}20\,\text{kg} + 380\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}}\cdot 0{,}15\,\text{kg}} = 298\,\text{K}.$$

Atsakymas. Įleidus į kalorimetrą su vandeniu geležinį svarstį, nusistovėjo galutinė temperatūra, lygi 298 K arba 25 °C.

14.2 pavyzdys

Žemėje per metus išgaruoja vidutiniškai 577 000 km^3 vandens. Jis kondensuojasi ir kritulių pavidalu vėl patenka ant Žemės paviršiaus. Apskaičiuokite, koks šilumos kiekis sunaudojamas per metus vandeniui garinti (tiek pat jo grąžinama vykstant kondensacijai).

$V = 577\,000$ km^3 $= 5{,}77 \cdot 10^{14}$ m^3	$L = 2{,}26 \cdot 10^6$ J/kg
	$\rho = 10^3$ kg/m^3

Q – ?

Sprendimas

Garinimui sunaudotas šilumos kiekis apskaičiuojamas pagal formulę $Q_{gar} = Lm$, o išgarinto vandens masę aprašome formule $m = \rho V$. Iš šių dviejų lygčių gauname: $Q_{gar} = L\rho V$. Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame ieškomąjį dydį:

$$Q = 2{,}26\cdot 10^6\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}\cdot 10^3\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\cdot 5{,}77\cdot 10^{14}\,\text{m}^3 = 1{,}3\cdot 10^{24}\,\text{J}.$$

Atsakymas. Vandeniui garinti per metus Žemėje sunaudojama 1,3 · 10^{24} J šilumos. Toks šilumos kiekis gaunamas sudeginus apie 3 · 10^{13} t naftos.

14.3 pavyzdys

Apskaičiuokite, kiek šilumos išsiskiria ežero paviršiuje susidarant 12 cm storio ledui (tiek pat šilumos sunaudojama šiam ledui ištirpinti). Ežero plotas $2{,}5 \cdot 10^5$ m². Ledo savitoji lydymosi šiluma lygi $3{,}3 \cdot 10^5$ J/kg.

$h = 12$ cm $= 12 \cdot 10^{-2}$ m
$S = 2{,}5 \cdot 10^5$ m²
$\rho = 900$ kg/m³
$\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5$ J/kg

Q – ?

Sprendimas

Vandeniui vėstant, o vėliau ir šąlant išsiskyręs šilumos kiekis apibūdinamas formule $Q = \lambda m$ (**1**). Ledo masę išreiškiame jo tankiu ir tūriu: $m = \rho V$, $V = S \cdot h$. Šias dvi formules įrašę į **1** lygtį, gauname: $Q = \lambda \rho S h$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame ežero paviršiuje išsiskyrusį šilumos kiekį ledo susidarymo metu: $Q = 3{,}3 \cdot 10^5 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2{,}5 \cdot 10^5 \text{ m}^2 \cdot 12 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 8{,}9 \cdot 10^{12} \text{ J}.$

Atsakymas. Susidarant ledui, ežero vanduo išskiria $8{,}9 \cdot 10^{12}$ J energijos. Tiek pat šiluminės energijos sunaudojama šiam ledui ištirpinti.

14.4 pavyzdys

Inde yra 100 g 20 °C temperatūros vandens. Į jį įpylus 100 °C temperatūros vandens, inde nusistovėjo 75 °C temperatūra. Kiek įpilta karšto vandens? Indo įšilimo ir kitų energijos nuostolių nepaisykite.

$m_1 = 100$ g $= 0{,}1$ kg
$t_1 = 20$ °C
$t_2 = 100$ °C
$\theta = 75$ °C

m_2 – ?

Sprendimas

Karštas vanduo atidavė dalį šilumos šaltam vandeniui: $Q_1 = Q_2$. Taikome energijos tvermės dėsnio lygtį, pagal kurią karšto vandens atiduotas šilumos kiekis $Q_2 = cm_2 (t_2 - \theta)$ yra lygus šalto vandens gautam šilumos kiekiui $Q_1 = cm_1 (\theta - t_1)$. Kadangi pastarųjų lygčių kairiosios pusės yra lygios, tai ir dešiniosios bus lygios: $cm_1 (\theta - t_1) = cm_2 (t_2 - \theta)$. Iš šios lygties randame m_2: $m_2 = \frac{cm_1(\theta - t_1)}{c(t_2 - \theta)}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame karšto vandens masę:

$$m_2 = \frac{0{,}1 \text{ kg}(75\ ^\circ\text{C} - 20\ ^\circ\text{C})}{100\ ^\circ\text{C} - 75\ ^\circ\text{C}} = 0{,}22 \text{ kg}.$$

Atsakymas. Į indą įpilta 0,22 kg karšto vandens.

14.5* pavyzdys

50 l tūrio dujos izobariškai šildomos nuo 293 K iki 353 K temperatūros, esant normaliam atmosferos slėgiui. Kokį darbą jos atlieka ir kiek kartų pakinta jų vidinė energija?

$V_1 = 50\ l = 50 \cdot 10^{-3}\ m^3$
$p = 1 \cdot 10^5$ Pa
$T_1 = 293$ K
$T_2 = 353$ K

A – ? n –?

Sprendimas

Izobarinio proceso metu dujų plėtimosi darbas išreiškiamas lygtimi $A = p(V_2 - V_1)$ (**1**). Iš Gei-Liusako dėsnio galinės būsenos tūris $V_2 = V_1 \dfrac{T_2}{T_1}$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1**, gauname, kad $A = pV_1\left(\dfrac{T_2}{T_1} - 1\right)$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame dujų atliktą darbą:

$$A = 1 \cdot 10^5 \text{Pa} \cdot 50 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 \left(\frac{353\,\text{K}}{293\,\text{K}} - 1\right) \approx 1000\,\text{J} \approx 1\,\text{kJ}.$$

Kadangi idealių dujų vidinė energija yra proporcinga temperatūrai $\left(U = \dfrac{3}{2}\dfrac{m}{M}RT\right)$, gauname, kad $n = \dfrac{U_2}{U_1} = \dfrac{T_2}{T_1}$; $n = \dfrac{353\,\text{K}}{293\,\text{K}} = 1{,}2.$

Atsakymas. Dujos atliko apytiksliai 1 kJ darbą, ir jų vidinė energija padidėjo 1,2 karto.

14.6* pavyzdys

Anglies dvideginio dujos, kurių masė 0,5 kg, yra cilindre po įtvirtintu stūmokliu. Dujos pašildomos 50 K. Kokį jos atliko darbą ir kiek pakito jų vidinė energija?

$m = 0{,}5$ kg
$\Delta T = 50$ K

A – ? ΔU – ?

Sprendimas

Kadangi stūmoklis įtvirtintas, tai dujos nesiplečia ir darbo neatlieka: $A = 0$.

Šių dujų vidinės energijos pokytis išreiškiamas lygtimi $\Delta U = c_v m\, \Delta T$.

Iš lentelės randame, kad $c_v = 830$ J/kg · K. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame vidinės energijos pokytį:

$$\Delta U = 830 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0{,}5\,\text{kg} \cdot 50\,\text{K} = 20750\,\text{J} = 20{,}75\,\text{kJ}.$$

Atsakymas. Anglies dvideginio dujos darbo neatlieka, o vidinės energijos pokytis lygus 20,75 kJ.

14.7* pavyzdys

Idealiojo šiluminio variklio šildytuvo temperatūra 480 K, o aušintuvo – 280 K. Kiek kartų pakinta variklio naudingumo koeficientas, šildytuvo temperatūrą padidinus, o aušintuvo sumažinus dydžiu, lygiu 100 K?

$T_1 = 480$ K
$T_2 = 280$ K
$\Delta T = 100$ K

$\frac{\eta'}{\eta} - ?$

Sprendimas

Ieškomą santykį apskaičiuojame pagal lygtį $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, arba $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ ir $\eta' = 1 - \frac{T_2 - \Delta T}{T_1 + \Delta T}$. Tuomet

$\frac{\eta'}{\eta} = \frac{T_1 - T_2 + 2\Delta T}{(T_1 + \Delta T)(T_1 - T_2)} T_1$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame ieškomus dydžius ir gauname: $\frac{\eta'}{\eta} = \frac{480\,\text{K} - 280\,\text{K} + 2 \cdot 100\,\text{K}}{(480\,\text{K} + 100\,\text{K})(480\,\text{K} - 280\,\text{K})} 480\,\text{K} = 1{,}65.$

Atsakymas. Variklio naudingumo koeficientas pakito 1,65 karto.

14.8* pavyzdys

Vidaus degimo variklio cilindras per vieną ciklą atlieka 201,9 J darbą ir sudegina 10^{-5} kg benzino, kurio savitoji degimo šiluma 47 MJ/kg. Raskite vidaus degimo variklio cilindro naudingumo koeficientą.

$A_n = 201{,}9$ J
$m = 10^{-5}$ kg
$q = 47 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 47 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

η – ?

Sprendimas

Iš apibrėžimo išplaukia, kad naudingumo koeficientas $\eta = \frac{A_n}{A_v} 100\,\%$ (**1**); čia A_n – naudingas darbas, o A_v – visas darbas, kuris lygus iš šildytuvo gautam šilumos kiekiui: $A_v = Q = qm$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1**, gauname, kad $\eta = \frac{A_n}{qm} 100\,\%$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių reikšmes ir apskaičiuojame naudingumo koeficientą:

$$\eta = \frac{201{,}9\,\text{J}}{47 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot 10^{-5}\text{kg}} 100\,\% = 43\,\%.$$

Atsakymas. Vidaus degimo variklio cilindro naudingumo koeficientas lygus 43 %.

14.9* pavyzdys

Švininė kulka, skriejanti 850 m/s greičiu, pramuša lentą, ir dėl to jos greitis sumažėja iki 700 m/s. Kiek pakinta kulkos temperatūra, jeigu ji netenka 20 % vidinės energijos?

v_0 = 850 m/s	c = 130 J/kg K
v = 700 m/s	
η = 20 % = 0,2	
ΔT – ?	

Sprendimas

Pramušant lentą kulkos kinetinės energijos pokytis lygus vidinės energijos pokyčiui: $\Delta U = \Delta W_k = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}$. Pagal uždavinio sąlygą ne visa kinetinė energija virsta vidine, tik jos dalis (20 %). Vadinasi, $\Delta U = \eta\left(\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\right)$ **(1)**. Kulkos vidinės energijos pokytis ΔU užrašomas lygtimi $\Delta U = mc\Delta t$ **(2)**. Šią lygtį įrašę į **1** ir atlikę matematinį pertvarkį, gauname kulkos temperatūros pokyčio išraišką: $mc\Delta t = \eta\left(\frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}\right)$; $\Delta t = \frac{\eta\left(v_0^2 - v^2\right)}{2c}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame rezultatą:

$$\Delta t = \frac{0{,}2\left(\left(850\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 - \left(700\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2\right)}{2\cdot 130\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}} = 180\ \text{K}.$$

Atsakymas. Kulkos temperatūra pakito 180 K.

14.10* pavyzdys

Kambario radiatorius, kuriame nutraukta vandens cirkuliacija, atidavė orui 10^5 J šilumos ir atšalo nuo 46 °C iki 44 °C. Oro temperatūra kambaryje padidėjo nuo 18 °C iki 19 °C. Tarkime, kad kambarys su radiatoriumi yra izoliuotoji sistema. Raskite jos entropijos pokytį.

$\Delta Q = 10^5$ J	
$t_1' = 46$ °C;	$T_1' = 319$ K
$t_1'' = 44$ °C;	$T_1'' = 317$ K
$t_2' = 18$ °C;	$T_2' = 291$ K
$t_2'' = 19$ °C;	$T_2'' = 292$ K
ΔS – ?	

Sprendimas

Tarkime, radiatorius atiduoda šilumą esant pastoviai temperatūrai T_1 = 318 K, o oras gauna šilumą esant pastoviai temperatūrai T_2 = 291,5 K. Vadinasi, radiatoriaus entropijos pokytis bus lygus $\Delta S_1 = \frac{-\Delta Q}{T_1}$, o oro entropijos pokytis $\Delta S_2 = \frac{\Delta Q}{T_2}$. Apskaičiuojame abu pokyčius: $\Delta S_1 = \frac{-10^5\,\text{J}}{318\,\text{K}} = -314{,}5\,\frac{\text{J}}{\text{K}}$; $\Delta S_2 = \frac{10^5\,\text{J}}{291{,}5\,\text{K}} = 343\,\frac{\text{J}}{\text{K}}$.

Bendras sistemos entropijos pokytis bus lygus $\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$, t. y.

$$\Delta S = -314{,}5\,\frac{\text{J}}{\text{K}} + 343\,\frac{\text{J}}{\text{K}} = 28{,}5\,\frac{\text{J}}{\text{K}}.$$

Atsakymas. Kambario su radiatoriumi entropijos pokytis lygus 28,5 J/K.

14.11* pavyzdys

Apskaičiuokite, kokią šilumą atiduotų Pasaulio vandenyno vanduo, jeigu jo temperatūra sumažėtų 1 K. Žinoma, kad vandens masė lygi $1{,}39 \cdot 10^{21}$ kg, o savitoji šiluma $4{,}2 \cdot 10^3$ J/kgK.

$m = 1{,}39 \cdot 10^{21}$ kg
$\Delta T = 1$ K
$c = 4{,}2 \cdot 10^3$ J/kgK

ΔQ – ?

Sprendimas

Vandeniui auštant išsiskyręs šilumos kiekis apibūdinamas lygtimi $\Delta Q = mc\Delta T$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių reikšmes ir apskaičiuojame išsiskyrusį šilumos kiekį:

$$\Delta Q = 1{,}39 \cdot 10^{21}\ \text{kg} \cdot 4{,}2 \cdot 10^3\ \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 1\ \text{K} = 5{,}82 \cdot 10^{24}\ \text{J}.$$

Atsakymas. Pasaulio vandenynui ataušus 1 K, išsiskirtų $5{,}82 \cdot 10^{24}$ J šilumos. Ignalinos AE, kurios galia $2{,}35 \cdot 10^9$ W, tokią energiją pagamintų per laiką $t = \frac{\Delta Q}{P}$;

$$t = \frac{5{,}82 \cdot 10^{24}\ \text{J}}{2{,}35 \cdot 10^9\ \text{W}} = 2{,}48 \cdot 10^{15}\text{s} = 7{,}85 \cdot 10^7 \text{metų}.$$

14.1. Kodėl salų klimatui būdingi mažesni temperatūros svyravimai, negu žemynų klimatui? Atsakymą pagrįskite.

14.2. Kodėl dykumose temperatūra dieną labai pakyla, o naktį nukrinta net žemiau nulio? Atsakymą pagrįskite.

14.3. Automobilis važiuoja horizontaliu keliu pastoviu greičiu. Kam tada eikvojama kuro energija?

14.4. Palyginkite vienodos masės neono ir helio vidinę energiją esant tai pačiai temperatūrai.

14.5. Kaip kinta vienatomių dujų vidinė energija, kai jos: a) izobariškai kaitinamos; b) izochoriškai aušinamos; c) izotermiškai slegiamos?

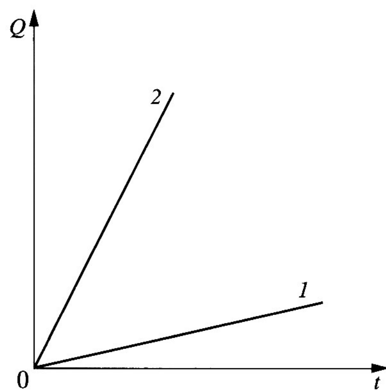
14.6. Kokia yra 8 mol vienatomių dujų vidinė energija, kai temperatūra lygi 37 °C?

14.7. Apskaičiuokite 70 m^3 tūrio aerostatą pripildančio helio vidinę energiją, kai slėgis lygus 100 kPa.

14.8. 2,4 l tūrio inde laikomų vienatomių dujų vidinė energija lygi 240 J. Koks yra šių dujų slėgis?

14.9. Vienatomių dujų slėgis padidėjo 4 kartus, o tūris sumažėjo 5 kartus. Kiek kartų pakito dujų vidinė energija?

14.10. Aliumininiame arbatinuke šildomas vanduo. 14.1 paveiksle pavaizduoti šilumos kiekio, kurį gavo arbatinukas ir vanduo, priklausomybės nuo laiko grafikai. Kuris grafikas nubraižytas vandeniui ir kuris – arbatinukui?

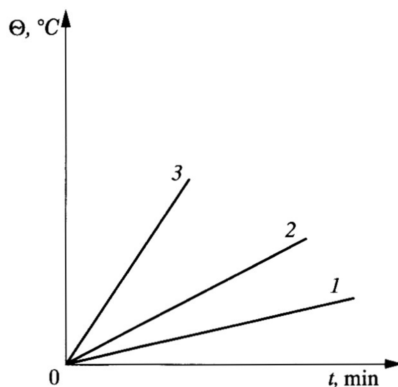


14.1 pav.

14.11. Ant vienodų degiklių buvo šildoma vienodos masės vanduo, varis ir geležis. Nurodykite, kuris grafikas sudarytas vandeniui, kuris – variui ir kuris – geležiai (14.2 pav.).

14.12. Į 1,2 kg masės geležinį katilą įpilta 4 kg vandens. Kokį šilumos kiekį reikia suteikti katilui, kad vanduo jame sušiltų nuo 16 °C iki 90 °C?

14.13. Akmens ir metalo savitosios šilumos santykis lygus 2:1, o tankio santykis – 3:13. Kuriuo atveju vanduo kibire įkais daugiau: įmetus į jį karštą akmenį ar tokio pat tūrio tiek pat įkaitintą metalo gabalą? Įrodykite.



14.2 pav.

14.14. Kokia temperatūra nusistovės inde, sumaišius 20 l 20 °C temperatūros vandens su 30 l 50 °C temperatūros vandeniu?

14.15. Garo katile buvo 40 m^3 240 °C temperatūros vandens. Kiek 10 °C temperatūros vandens dar reikėjo įpilti, kol temperatūra nukrito iki 200 °C? Į vandens tankio kitimą nekreipkite dėmesio.

14.16. Į 130 g masės žalvarinį kalorimetrą, kuriame yra 245 g 10 °C temperatūros vandens, įdedamas 200 g masės bei 90 °C temperatūros kūnas. Kalorimetre nusistovi 22 °C temperatūra. Nustatykite šio kūno savitąją šilumą.

14.17. Kokį darbą atlieka dujos, izobariškai išsiplėsdamos nuo 1,6 l iki 2,6 l? Dujų slėgis lygus 2 atm.

14.18. Izobariškai išsiplėsdamos, dujos atliko 35 J darbą. Dujų slėgis buvo lygus 10^5 Pa. Kiek padidėjo jų tūris?

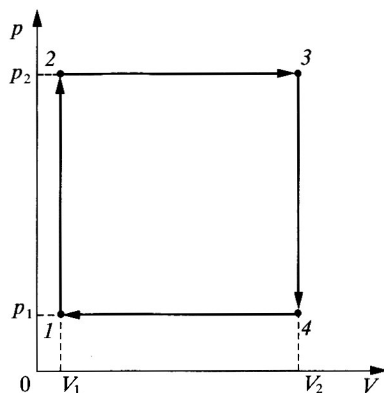
14.19. Kokį darbą atliko 330 g deguonies, izobariškai pakaitinto 15 K?

14.20. Kokį darbą atlieka 5 kg oro, izobariškai šildomo nuo 6 °C iki 156 °C?

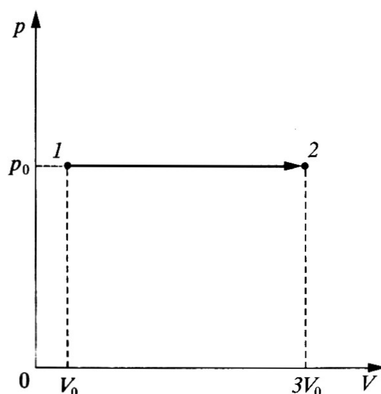
14.21. Cilindre po nesvariu stūmokliu yra 3 kg oro. Nekintant slėgiui, jo temperatūra padidėjo 100 K. Kokį darbą atliko oras besiplėsdamas? Jo tankis normaliomis sąlygomis lygus 1,29 kg/m^3.

14.22. Dujos izotermiškai išsiplečia, dėl to jų tūris padidėja nuo 2 l iki 14 l. Pradinis dujų slėgis lygus $1{,}2 \cdot 10^6$ Pa. Nubraižykite šio proceso grafiką ir, remdamiesi juo, apskaičiuokite dujų atliktą darbą.

14.23. 14.3 paveiksle pavaizduotas šiluminės mašinos darbo ciklas. Apskaičiuokite per šį ciklą mašinos atliktą darbą.



14.3 pav.



14.4 pav.

14.24. Cilindre po stūmokliu yra dujų, kurių būsena kinta taip, kaip pavaizduota grafike (14.4 pav.). Kiek kartų pakinta šių dujų temperatūra? Kokį darbą jos atlieka?

14.25. Termodinaminei sistemai buvo perduotas 250 J šilumos kiekis. Kaip pakito sistemos vidinė energija, kai ta sistema atliko 450 J darbą?

14.26. 2,4 kg vandenilio buvo izobariškai pakaitinta 15 K. Kiek padidėjo vandenilio vidinė energija?

14.27. Kiek padidės 2,2 kg vandenilio vidinė energija, jo temperatūrai pakilus 16 K?

14.28. 12 mol vienatomių dujų buvo izobariškai pakaitinta 100 K. Kiek pakito šių dujų vidinė energija? Kokį darbą atliko dujos ir koks šilumos kiekis joms buvo suteiktas?

14.29. 700 mol dujų, izobariškai pakaitintos 400 K, gavo 9,6 MJ šilumos. Apskaičiuokite dujų atliktą darbą ir jų vidinės energijos pokytį.

14.30. Kokiomis sąlygomis šiluminės mašinos naudingumo koeficientas būtų lygus vienetui? Atsakymą išsamiai paaiškinkite.

14.31. Šiluminės mašinos šildytuvo temperatūra 260 °C, aušintuvo – 27 °C. Per tam tikrą laiką šildytuvas gavo $1{,}6 \cdot 10^6$ J šilumos ir aušintuvui atidavė $1{,}1 \cdot 10^6$ J. Apskaičiuokite šiluminės mašinos naudingumo koeficientą, palyginkite jį su didžiausia naudingumo koeficiento verte.

14.32. Šiluminės mašinos naudingumo koeficientas lygus 80 %, o aušintuvo temperatūra 27 °C. Kokia yra šildytuvo temperatūra?

14.33. Vykstant uždaram procesui, dujos atliko 120 J darbą ir perdavė aušintuvui 0,4 kJ šilumos. Apskaičiuokite ciklo naudingumo koeficientą.

14.34. Šiluminėje mašinoje iš šildytuvo gautas kiekvienas kilodžaulis energijos atlieka 320 J darbą. Aušintuvo temperatūra 270 K. Apskaičiuokite mašinos naudingumo koeficientą ir šildytuvo temperatūrą.

15. Elektrostatikos dėsniai ir sąvokos

Elektrostatikos tyrimo objektas yra nejudančių kūnų elektros krūviai ir jų kuriamas laukas, kuriuo perduodama elektrostatinė (kuloninė) sąveika. Elektrostatikos dėsnių pagrindu tiriamas elektriškai įkrautų medžiagos dalelių judėjimas natūraliosios ir technologinės kilmės elektriniuose ir magnetiniuose laukuose, veikia daugelis prietaisų, valymo įrenginių.

Elektros krūvis yra mikrodalelės vidinė savybė, lemianti jos elektromagnetinę sąveiką su kitomis dalelėmis. Krūviai sąlygiškai skirstomi į teigiamuosius ir neigiamuosius ($+q$ ir $-q$). Minimalų pagal absoliutųjį dydį (elementarųjį) dabar žinomą elektros krūvį turi elektronas (jo krūvis laikomas neigiamuoju): $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$C. Elektrono masė $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg. Teigiamąjį elementarųjį elektros krūvį turi protonas ($q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, $m_p = 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg). Visų kūnų elektros krūviai yra lygūs elementariųjų teigiamųjų ir neigiamųjų krūvių algebrinėms sumoms, todėl jie yra kartotiniai elementariajam elektros krūviui. Elektros krūvis lieka toks pats judančiose ir nejudančiose atskaitos sistemose.

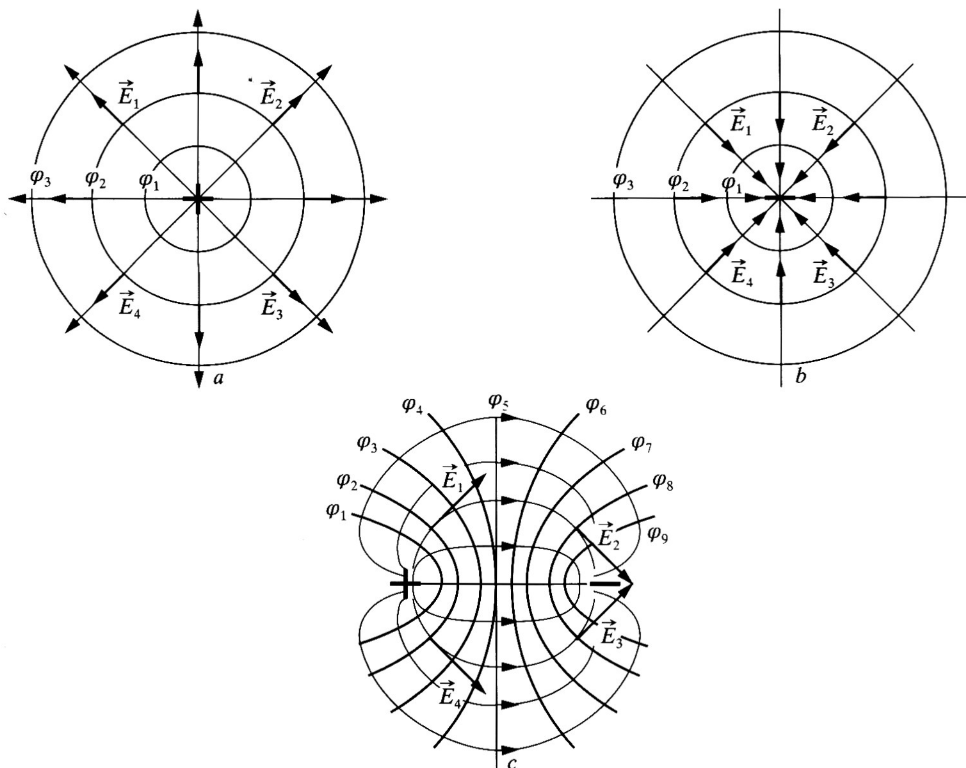
Bet koks kūnų įelektrinimas reiškia elektros krūvių perskirstymą tarp kūnų, iš kurių vieni įsielektrina teigiamai, o kiti – neigiamai. Elektros krūvį turinčios (elektringosios) dalelės, kurios gali judėti ir perkelti krūvį, vadinamos krūvininkais. Pagal krūvininkų koncentraciją medžiagos skirstomos į laidininkus (didelė krūvininkų koncentracija, geras elektrinis laidumas, pvz., metalai), dielektrikus (beveik nėra krūvininkų, nepraleidžia elektros srovės, pvz., stiklas) ir tarpinio elektrinio laidumo reikšmių puslaidininkius (krūvininkų koncentracija priklauso nuo išorinių sąlygų – temperatūros, apšvietos).

Dėsnio pavadinimas	Formulė	Apibrėžimas	Taikymo ribos
Krūvio tvermės dėsnis	$q_1 + q_2 + ... + q_n = \text{const.}$	Uždaros sistemos, į kurią iš išorės nepatenka ir iš kurios neišeina elektros krūviai, visų sąveikaujančių kūnų elektros krūvių algebrinė suma yra pastovi.	Galioja uždarai sistemai.
Kulono dėsnis	$F = \dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$, $F = k\dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{\varepsilon r^2}$, $k = 9 \cdot 10^9\ \text{Nm}^2/\text{C}^2$.	Dviejų taškinių nejudančių kūnų krūvių sąveikos jėgos modulis tiesiog proporcingas šių krūvių absoliučiųjų verčių sandaugai ir atvirkščiai proporcingas atstumo tarp jų kvadratui.	Tinka tik taškiniams krūviams.

Elektrostatinė krūvių sąveika per atstumą paaiškinama tuo, kad apie kiekvieną krūvį susidaro į begalybę besitęsiantis elektrostatinis laukas. Kiekybiškai bet kuris lauko taškas apibūdinamas elektrostatinio lauko stipriu $\vec{E}$.

Pagal superpozicijos principą krūvių sistemos sukuriamo elektrostatinio lauko stipris bet kuriame taške yra lygus visų sistemos krūvių laukų stiprių šiame taške sumai: $\vec{E}=\sum_{i=1}^{n}\vec{E}_i$.

Elektrostatinis laukas vaizduojamas elektrinio lauko jėgų linijomis, kurios braižomos taip, kad kiekviename taške liestinės į jėgos liniją kryptis sutaptų su lauko stiprio vektoriumi šiame taške. Jos prasideda ties teigiamaisiais krūviais ir pasibaigia ties neigiamaisiais (esant pavieniams krūviams, jėgų linijos iš teigiamojo krūvio nueina į begalybę arba ateina iš begalybės į neigiamąjį krūvį). Vienalyčio elektrostatinio lauko (jo visuose taškuose stiprio vektorius yra vienodas $\vec{E}$ = const) jėgų linijos yra lygiagrečios tiesės, išsidėsčiusios vienodais atstumais viena nuo kitos. Pavienių krūvių bei dviejų vienodo dydžio ir priešingų ženklų krūvių sistemos (elektrinio dipolio) jėgų linijos ir stiprio vektoriai keliuose taškuose pavaizduoti 15.1 paveikslę.



15.1 pav.

Jeigu krūviai tolygiai pasiskirsto išilgai linijos, jų pasiskirstymas apibūdinamas linijiniu krūvio tankiu, kuris lygus krūviui, tenkančiam ilgio vienetui:

$$\tau_q = \frac{\Delta q}{\Delta l}, \; [\tau_q] = \text{C/m}.$$

Jeigu krūviai tolygiai pasiskirsto paviršiuje, jų pasiskirstymas apibūdinamas paviršiniu krūvio tankiu, kuris lygus krūviui, tenkančiam ploto vienetui:

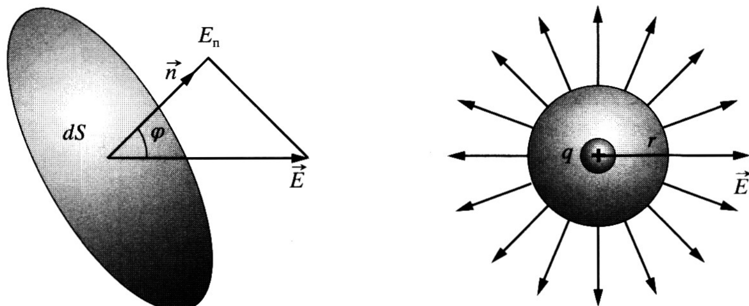
$$\sigma_q = \frac{\Delta q}{\Delta S}, \; [\sigma_q] = \text{C/m}^2.$$

Jeigu krūviai tolygiai pasiskirsto uždaroje erdvėje, jų pasiskirstymas apibūdinamas tūriniu krūvio tankiu, kuris lygus krūviui, tenkančiam tūrio vienetui:

$$\rho_q = \frac{\Delta q}{\Delta V}, \; [\rho_q] = \text{C/m}^3.$$

Elementariuoju elektrostatinio lauko stiprio vektoriaus srautu $\Delta\Phi_E$, tenkančiu plotui ΔS, vadinama elektrostatinio lauko stiprio vektoriaus $\vec{E}$ ir šio ploto ($\Delta\vec{S}$ kryptis sutampa su vienetinio ilgio statmens $\vec{n}$ šiam plotui kryptimi, t. y. $\Delta\vec{S} = \vec{n}\,\Delta S$) skaliarinė sandauga: $\Delta\Phi_E = \left(\vec{E}\Delta\vec{S}\right) = E\Delta S\cos\varphi = E_n\Delta S$, čia $\vec{E}$ – elektrostatinio lauko stipris ΔS taškuose; φ – kampas tarp vektorių $\vec{E}$ ir $\vec{n}$; E_n – vektoriaus $\vec{E}$ projekcija į statmenį $\vec{n}$.

Elektrostatinio lauko stiprio vektoriaus srautas yra teigiamas, jei jis išeina iš uždarojo paviršiaus, ir neigiamas, – jei į jį įeina.



15.2 pav.

Kadangi kiekviename sferos taške lauko stiprio projekcija į išorinį statmenį yra $E_n = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, o sferos plotas $S = 4\pi r^2$, tai elektrostatinio lauko stiprio vektoriaus srautas $\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$ (15.2 pav.).

Fizikiniai dydžiai	Pagrindinė formulė	Išvestinės formulės	Matavimo vienetai
Elektrinio lauko stipris $\vec{E}$ – lauko jėgos charakteristika	$\vec{E}=\frac{\vec{F}}{q}$.	$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}$ – taškinio krūvio; $E=\frac{q}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}$ – begalinės plokštumos.	$[E]=$ N/C, arba $[E]=$ V/m.
Potencialas φ – energetinė lauko charakteristika	$\varphi=\frac{W_p}{q^+}$.	$\varphi=\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}=\frac{\lvert\sigma_q\rvert}{2\varepsilon_0\varepsilon}$ – taškinio krūvio; $\varphi = E \cdot d$ – begalinės plokštumos.	$[\varphi]$ = V; 1 V = 1 J/C.
Potencialų skirtumas $\Delta\varphi$ arba U	$\Delta\varphi=U=\frac{A}{q}$.	$U = E \cdot d$; $A=qE(d_1-d_2)=-(W_{p_2}-W_{p_1})$.	1 V = 1 J/C.
Elektrinė talpa C – laidininko arba laidininkų sistemos charakteristika	$C=\frac{q}{\varphi}$; $C=\frac{q}{\Delta\varphi}$.	$C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R$ – rutulio talpa; $C=\frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$ – plokščiojo kondensatoriaus talpa.	[C] = 1 F; 1 F = 1 C/V.
Elektrinė jėga $\vec{F}$	$\vec{F}=q\vec{E}$.	Tinka bet kokiam laukui.	$[F]$ = 1 N.
Elektrinio lauko energija W	$W=\frac{CU^2}{2}$; $W=\frac{q^2}{2C}=\frac{qU}{2}$.		$[W]$ = J, 1 J = 1V · C, 1eV = = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

15.1 pavyzdys*

Raskite, kokį krūvį turi turėti du vienodi rūko lašeliai, kad jų elektrostatinė stūmos jėga būtų lygi gravitacinės traukos jėgai. Lašelių spinduliai $2 \cdot 10^{-4}$ m, atstumas tarp lašelių $r >> R$.

$R_1 = R_2 = 2 \cdot 10^{-4}$ m	$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Nm²/kg²
$r >> R$	$\rho = 10^3$ kg/m³
$m_1 = m_2 = m$	$k = 9 \cdot 10^9$ Nm²/C²
q – ?	

Sprendimas

Taikydami visuotinės traukos dėsnį, lašelių gravitacinės sąveikos jėgą F_g apibūdiname lygtimi

$F_g = G\frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{m}{r^2}$ (**1**), čia G – gravitacijos konstanta, m – lašelio masė, r – atstumas tarp lašelių (darome prielaidą, kad lašeliai yra materialūs taškai, turintys rutulio formą, be to, pagal sąlygą $r >> R$). Lašelių masė $m = \rho V$ (**2**), o jų tūris apskaičiuojamas taikant rutulio tūrio formulę $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ (**3**). **2** ir **3** formules įrašę į **1**, gauname: $F_g = \frac{16}{9} G\pi^2 \frac{R^6 \rho^2}{r^2}$ (**4**).

Elektrostatinės lašelių sąveikos jėga randama, taikant Kulono dėsnio formulę $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{kq^2}{r^2}$ (**5**).

Uždavinio sąlygoje nurodyta, kad elektrostatinės stūmos jėga lygi gravitacinės traukos jėgai, todėl sulyginame **4** ir **5** lygčių dešiniąsias puses: $\frac{kq^2}{r^2} = \frac{16}{9} G\pi^2 \frac{R^6 \rho^2}{r^2}$.

Iš pastarosios lygties išreiškiame elektros krūvį q ir, įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame jo didumą: $q = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho \sqrt{\frac{G}{k}}$;

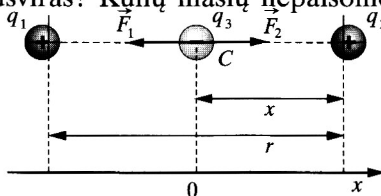
$$q = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot \left(2 \cdot 10^{-4}\,\mathrm{m}\right)^3 \cdot 10^3 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} \sqrt{\frac{6{,}67 \cdot 10^{-11} \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{kg}^2}}{9 \cdot 10^9 \frac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{C}^2}}} = 2{,}88 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{C}.$$

Atsakymas. Lašelių krūvis lygus $2{,}88 \cdot 10^{-11}$ C. Toks krūvio absoliutusis dydis lygus 18 elektronų krūviui.

15.2 pavyzdys

Du kūnai turi teigiamus 1,67 nC ir 3,33 nC krūvius, atstumas tarp jų lygus 20 cm. Kuriame tuos kūnus jungiančios atkarpos taške reikia padėti trečią kūną, turintį 0,67 nC krūvį, kad jis liktų pusiausviras? Kūnų masių nepaisome.

$q_1 = 1{,}67$ nC $= 1{,}67 \cdot 10^{-9}$ C
$q_2 = 3{,}33$ nC $= 3{,}33 \cdot 10^{-9}$ C
$r = 20$ cm $= 0{,}2$ m
$\lvert q_3 \rvert = 0{,}67\,\mathrm{nC} = 0{,}67 \cdot 10^{-9} C$
x – ?



15.3 pav.

Sprendimas

Tarp kūno C, kurio krūvis q_3, ir krūvių q_1 bei q_2 veikia elektrostatinės kilmės (kuloninės) sąveikos jėgos $\vec{F}_1$ ir $\vec{F}_2$ (15.3 pav.). Užrašome kūno C, kurio krūvis q_3, pusiausvyros sąlygą: $\vec{F}_1+\vec{F}_2=0$. Suprojektavę jėgas į x ašį, pastarąją lygtį perrašome skaliarine forma: $F_2-F_1=0$, arba $F_1=F_2$ (**1**). Sąveikos jėgas F_1 ir F_2 išreiškiame lygtimis $F_1=\dfrac{kq_1|q_3|}{(r-x)^2}$; $F_2=\dfrac{kq_2|q_3|}{x^2}$ (**2**); čia x – atstumas tarp krūvių q_2 ir q_3. **2** lygtį įrašę į **1** formulę, gauname, kad $\dfrac{kq_1|q_3|}{(r-x)^2}=\dfrac{kq_2|q_3|}{x^2}$. Matematiškai pertvarkę lygtį ir įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame atstumą tarp įelektrintų kūnų:

$$x=\frac{\sqrt{q_2}}{\sqrt{q_1}+\sqrt{q_2}}r;\; x=\frac{\sqrt{3{,}33\cdot10^{-9}\,\mathrm{C}}}{\sqrt{1{,}67\cdot10^{-9}\,\mathrm{C}}+\sqrt{3{,}33\cdot10^{-9}\,\mathrm{C}}}\cdot0{,}2\ \mathrm{m}\approx0{,}12\ \mathrm{m}.$$

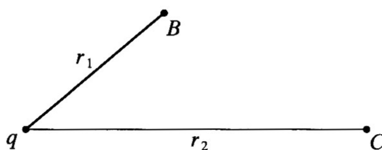
Atsakymas. Trečiąjį krūvį reikia padėti apytiksliai 0,12 m atstumu nuo antrojo arba 0,08 m atstumu nuo pirmojo krūvio, kad sistema būtų pusiausvira.

15.3 pavyzdys

Elektrinį lauką kuria $5\cdot10^{-7}$ C krūvis, esantis aplinkoje, kurios santykinė dielektrinė skvarba lygi 2 (15.4 pav.). Koks yra taškų B ir C, nutolusių nuo krūvio 5 cm ir 0,20 m, potencialų skirtumas? Kokį darbą atlieka laukas, perkeldamas iš taško B į tašką C $0{,}3\cdot10^{-7}$ C elektros krūvį?

$q=5\cdot10^{-7}$ C
$\varepsilon=2$
$r_1=r_B=5$ cm $=5\cdot10^{-2}$ m
$r_2=r_C=0{,}2$ m
$q_1=0{,}3\cdot10^{-7}$ C

$\Delta\varphi$ – ? A – ?



15.4 pav.

Sprendimas

Naudodamiesi taškinio krūvio potencialo formule $\varphi=\dfrac{kq}{r\varepsilon}$, rasime elektrinio lauko taškų B ir C potencialų skirtumą: $\Delta\varphi=U=\varphi_B-\varphi_C$; $\Delta\varphi=\dfrac{kq}{r_B\varepsilon}-\dfrac{kq}{r_C\varepsilon}=\dfrac{kq}{\varepsilon}\left(\dfrac{1}{r_B}-\dfrac{1}{r_C}\right)$.

Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame potencialų skirtumą, arba įtampą: $\Delta\varphi=U=\dfrac{9\cdot10^9\,\dfrac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{C}^2}\cdot5\cdot10^{-7}\,\mathrm{C}}{2}\left(\dfrac{1}{5\cdot10^{-2}\,\mathrm{m}}-\dfrac{1}{0{,}2\ \mathrm{m}}\right)=33\,750\ \mathrm{V}=33{,}75\ \mathrm{kV}.$

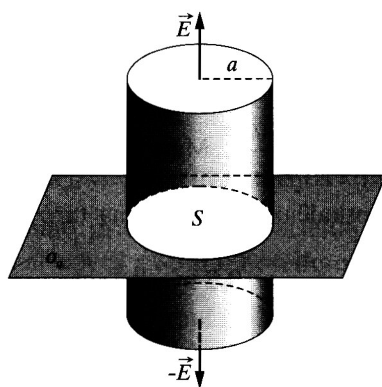
Elektrinio lauko atliekamas darbas, perkeliant krūvį, yra $A=q_1U$;
$A=0{,}3\cdot10^{-7}\,\mathrm{C}\cdot33\,750\ \mathrm{V}\approx0{,}001\ \mathrm{J}\approx1\ \mathrm{mJ}.$

Atsakymas. Duotųjų taškų potencialų skirtumas lygus 33,750 kV, o elektrinis laukas, perkeldamas tarp tų taškų krūvį q_1, atlieka apytiksliai 1 mJ darbą.

15.4* pavyzdys

Elektrodas yra paviršinio krūvio tankio σ_q plokštuma (plokštuma laikoma begaline, jei nagrinėjamo lauko taško atstumas iki plokštumos yra žymiai mažesnis už jos matmenis). Raskite tokios įkrautos plokštumos lauko stiprį.

σ_q
ε_0
E –?



15.5 pav.

Sprendimas

Pasirenkame uždarąjį paviršių, kuris yra plokštumai statmeno ritinio formos ir kurį plokštuma kerta per pusę (15.5 paveiksle pavaizduotas tos plokštumos fragmentas). Dėl simetrijos plokštumos kuriamo elektrinio lauko stiprio vektoriai $\vec{E}$ turi būti statmeni plokštumai. Todėl jėgų linijos kerta tik ritinio pagrindus, kurių bendras plotas $2S = 2\pi a^2$; čia a – ritinio spindulys. Vadinasi, elektrinio lauko stiprio vektoriaus srautas pro abu pagrindus apibūdinamas lygtimi $\Phi_E = 2ES = 2\pi a^2 E$ (**1**).

Atkreipkime dėmesį, kad lauko stiprių vektoriai ties viršutiniu ir apatiniu pagrindais ir jų statmens $\vec{n}$ yra priešingų ženklų, todėl srautai pro apatinį ir viršutinį pagrindą yra teigiami.

Ritinio viduje yra krūvis $q = \sigma_q S = \pi\sigma_q a^2$ (**2**). Taikydami Gauso teoremą elektrinio lauko stiprio vektoriaus srautui, gauname, kad $\Phi_E = \dfrac{q}{\varepsilon_0} = \dfrac{\pi a^2\sigma_q}{\varepsilon_0}$ (**3**). **1** ir **3** lygčių kairiosios pusės yra lygios, todėl ir dešiniosios lygios: $2\pi a^2 E = \dfrac{\pi a^2\sigma_q}{\varepsilon_0}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame įkrautos plokštumos lauko stiprį E: $E = \dfrac{\sigma_q}{2\varepsilon_0}$.

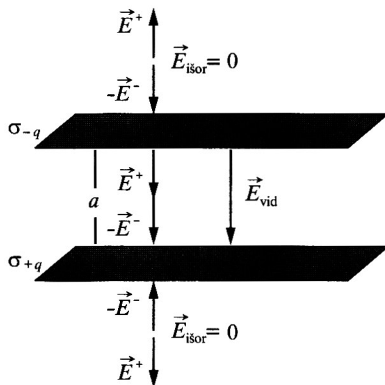
Atsakymas. Įkrautos plokštumos sukuriamo elektrostatinio lauko stipris apibūdinamas lygtimi $E = \dfrac{\sigma_q}{2\varepsilon_0}$. Galime daryti išvadą, kad begalinės plokštumos elektrostatinio lauko stipris nepriklauso nuo atstumo iki jos. Lauko stiprio vektoriaus kryptį lemia plokštumos krūvio ženklas. Vadinasi, teigiamai įkrautos plokštumos elektrostatinio lauko stiprio vektorius nukreiptas nuo plokštumos, neigiamai įkrautos plokštumos – į ją.

15.5* pavyzdys

Raskite elektrostatinio lauko stiprį tarp dviejų plokščiųjų elektrodų (plokščiojo kondensatoriaus), jei elektrodų paviršiniai teigiamojo ir neigiamojo krūvių tankiai yra vienodo didumo ir priešingų ženklų, t. y. $|\sigma_{+q}| = |\sigma_{-q}| = \sigma_q$. Atstumas tarp elektrodų yra žymiai mažesnis už jų matmenis, todėl elektrodus laikome begaliniais.

σ_{+q}
s_{-q}
a

E – ?



15.6 pav.

Sprendimas

Šio uždavinio sprendimui taikome laukų superpozicijos principą ir 15.6 pavyzdyje gauto rezultato išvadą. Plokščiojo kondensatoriaus viduje tarp skirtingų ženklų krūvius turinčių plokštumų laukų stiprio vektoriai $\vec{E}^{+} = \vec{E}^{-} = \vec{E}'$ nukreipti vienodai, todėl jų suma lygi

$$E = E_{\text{vid}} = 2E' = \frac{\sigma_{-q}}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma_{-q}}{2\varepsilon_0} = \frac{\sigma_q}{\varepsilon_0}.$$

Atsakymas. Elektrostatinio lauko stipris plokščiojo kondensatoriaus viduje apibūdinamas lygtimi $E_{\text{vid}} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_0}$, o išorėje lauko stipris lygus nuliui ($E_{\text{išor}} = 0$), nes plokščiųjų elektrodų išorėje vienodi pagal dydį lauko stiprio vektoriai yra priešingų krypčių.

15.6 pavyzdys

Kokį greitį įgis elektronas, veikiamas elektrinio lauko jėgų, kol praeis tarp taškų, kurių potencialai skiriasi 10 kV?

$e = 1{,}61 \cdot 10^{-19}$ C
$m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg
$U = 10$ kV $= 10^4$ V

v – ?

Sprendimas

Judant elektronui, elektrinis laukas atlieka darbą $A = eU$ ir suteikia elektronui kinetinę energiją $W_k = \frac{mv^2}{2}$. Žinome, kad darbas lygus kinetinės energijos pokyčiui, todėl galime užrašyti: $\frac{mv^2}{2} = eU$. Iš pastarosios lygties išreiškiame elektrono greitį v ir, įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame jo didumą:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}; \quad v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 10^4\,\text{V}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}}} \approx 6 \cdot 10^7 \text{ m/s}.$$

Atsakymas. Elektronas įgis greitį, apytiksliai lygų $6 \cdot 10^7$ m/s.

15.7 pavyzdys

Neutraliam deguonies atomui jonizuoti, atitraukiant nuo jo silpniausiai prisirišusį elektroną, reikia atlikti apytiksliai $2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J darbą. Raskite lauko potencialą taške, iš kurio yra atitraukiamas elektronas.

$A \approx 2{,}18 \cdot 10^{-18}$ J
$q = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$\varphi - ?$

Sprendimas

Tarkime, jog labai toli (begalybėje) nuo atomo jo kuriamo lauko potencialas lygus nuliui, todėl $\varphi = \Delta\varphi$ ir iš potencialo apibrėžimo gauname, kad taško, kuriame buvo elektronas, potencialas lygus $\varphi = \frac{A}{q}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame potencialo didumą:

$$\varphi = \frac{2{,}18 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{J}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}} = 13{,}62\ \mathrm{V}.$$

Atsakymas. Lauko potencialas lygus 13,6 V. Šis potencialas vadinamas pirmuoju jonizacijos potencialu.

15.8 pavyzdys

Kondensatoriui pagaminti naudota 157 cm ilgio, 90 mm pločio aliumininė folija ir 0,1 mm storio parafinuotas popierius. Kokia yra pagaminto kondensatoriaus talpa ir kiek energijos jame susikaupia, įkrovus iki $4 \cdot 10^2$ V įtampos?

$l = 157$ cm $= 1{,}57$ m	$\varepsilon = 2$
$h = 90$ mm $= 9 \cdot 10^{-2}$ m	$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m
$d = 0{,}1$ mm $= 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ m	
$U = 4 \cdot 10^2$ V	
$C - ?$ $W - ?$	

Sprendimas

Elektrinę talpą rasime iš formulės $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$. Kadangi $S = hl$, tai $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 hl}{d}$.

Įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame:

$$C = \frac{2 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{F}}{\mathrm{m}} \cdot 9 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m} \cdot 1{,}57\,\mathrm{m}}{0{,}1 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{m}} = 25 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F} = 25\,\mathrm{nF}.$$

Kondensatoriaus energijai apskaičiuoti taikysime formulę $W = \frac{CU^2}{2}$.

Įrašę žinomas fizikinių dydžių vertes, gauname:

$$W = \frac{25 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{F}\left(4 \cdot 10^2\,\mathrm{V}\right)^2}{2} = 0{,}002\ \mathrm{J} = 2\ \mathrm{mJ}.$$

Atsakymas. Kondensatoriaus elektrinė talpa yra 25 nF, jame susikaupia 2 mJ energijos.

15.9* pavyzdys

Du vienodi rutuliukai, kurių vieno krūvis $10 \cdot 10^{-9}$ C, kito – $2 \cdot 10^{-9}$ C, yra vakuume. Kiek kartų pakinta rutuliukų sąveikos jėga, juos suglaudžiant ir vėl atitolinant tokiu pat atstumu?

$q_1 = 10 \cdot 10^{-9}$ C
$q_2 = -2 \cdot 10^{-9}$ C

$\frac{F_1}{F_2} - ?$

Sprendimas

Rutuliukų elektrostatinės sąveikos jėgą apskaičiuosime remdamiesi Kulono dėsniu. Prieš suglaudžiant rutuliukus, ši jėga lygi $F_1 = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ (**1**).

Rutuliukus suglaudus, bendras jų krūvis, pagal krūvio tvermės dėsnį, tampa lygus algebrinei rutuliukų krūvių sumai: $q = q_1 + q_2$;
$q = 10 \cdot 10^{-9}\,\text{C} - 2 \cdot 10^{-9}\,\text{C} = 8 \cdot 10^{-9}\,\text{C}$. Kadangi abu rutuliukai yra vienodi, tai krūvis q juose pasiskirstys po lygiai: $q_1' = q_2' = \frac{q}{2}$; $q_1' = q_2' = q' = \frac{8 \cdot 10^{-9}\,\text{C}}{2} = 4 \cdot 10^{-9}\,\text{C}$.

Rutuliukų elektrostatinės sąveikos jėga, juos suglaudus ir vėl atitolinus, apibūdinama lygtimi $F_2 = \frac{kq_1'q_2'}{r^2} = \frac{kq'^2}{r^2}$ (**2**). Padaliję **2** lygtį iš **1** lygties, gauname:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{kq'^2r^2}{kq_1q_2r^2} = \frac{q'^2}{q_1q_2}; \quad \frac{F_2}{F_1} = \frac{(4 \cdot 10^{-9}\,\text{C})^2}{10 \cdot 10^{-9}\,\text{C} \cdot 2 \cdot 10^{-9}\,\text{C}} = \frac{4}{5}, \text{ arba } F_2 = 0{,}8F_1.$$

Atsakymas. Rutuliukų sąveikos jėga, juos suglaudžiant ir vėl atitolinant, lygi $0{,}8F_1$.

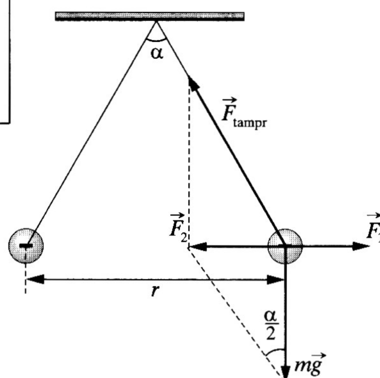
15.10* pavyzdys

Du rutuliukai, kurių kiekvieno masė 1,5 g, pakabinti ant šilkinių siūlų, pririštų viename taške. Gavę vienodo didumo ir ženklo krūvius, jie nutolo per 10 cm, o siūlai tada sudarė 36° kampą (15.7 pav.). Raskite, kokį krūvį ir kiek elektronų gavo kiekvienas rutuliukas, jei žinoma kad tie krūviai yra neigiamieji.

$m_1 = m_2 = 1{,}5$ g $= 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ kg	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$r = 10$ cm $= 0{,}1$ m	
$k = 9 \cdot 10^9$ Nm²/C²	
$\alpha = 36°$	

$q - ?$ $n - ?$

Sprendimas



15.7 pav.

Elektrinės sąveikos jėga $\vec{F}_1$ atsveria jėgą $\vec{F}_2$, t. y. sunkio jėgos $m\vec{g}$ ir siūlo tamprumo jėgos atstojamąją. Taikydami antrąjį Niutono dėsnį, galime parašyti, kad $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = m\vec{a}$. Kadangi nagrinėjamoji sistema nejuda ($\vec{a} = 0$), tai, perrašę lygtį ska-

liarine forma, gauname: $F_1 = F_2$ (**1**). Jėga F_1 – elektrostatinės sąveikos (kuloninė) jėga tarp įelektrintų rutuliukų – lygi $F_1 = \frac{kq^2}{r^2}$ (**2**); o jėga F_2 – sunkio jėgos dedamoji – lygi $F_2 = m_1 g \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$ (**3**). **2** ir **3** formules įrašę į **1** lygtį ir matematiškai ją pertvarkę, gauname ieškomojo krūvio išraišką: $\frac{kq^2}{r_2} = m_1 g \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$; $q = \sqrt{\frac{m_1 g r^2 \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}}{k}}$.

Į šią lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame rezultatą:

$$q = \sqrt{\frac{1{,}5 \cdot 10^{-3}\,\text{kg} \cdot 9{,}8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(0{,}1\text{m})^2\, 0{,}325}{9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}}} \approx 7{,}3 \cdot 10^{-8}\ \text{C}.$$

Gautą krūvio reikšmę padaliję iš vieno elektrono (elementariojo) krūvio reikšmės, rasime, kiek elektronų gavo kiekvienas rutuliukas:

$$n = \frac{q}{e};\quad n = \frac{7{,}3 \cdot 10^{-8}\text{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C}} \approx 4{,}6 \cdot 10^{11}.$$

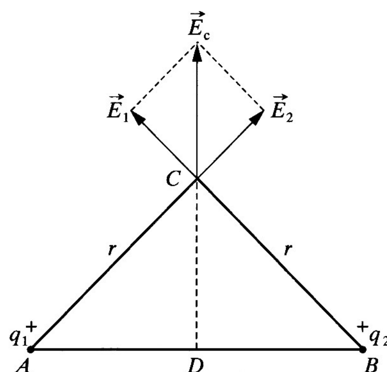
Atsakymas. Kiekvienas rutuliukas gavo po $7{,}3 \cdot 10^{-8}$ C elektros krūvį ir apytiksliai $46 \cdot 10^{10}$ elektronų.

15.11* pavyzdys

Stačiojo lygiašonio trikampio viršūnėse prie pagrindo yra lygaus absoliučiojo didumo taškiniai krūviai $q_1 = q_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ C. Atstumas tarp jų 0,6 m. Koks yra elektrinio lauko stipris ir potencialas stačiojo kampo viršūnėje ir aukštinės susikirtimo su pagrindu taške D dviem atvejais: a) kai krūviai yra vienodo ženklo; b) kai krūviai yra priešingų ženklų?

$q_1 = q_2 = 2 \cdot 10^{-8}$ C $l = 0{,}6$ m	$k = 9 \cdot 10^9$ Nm²/C²

E_C – ? E'_C – ? E_D – ? E'_D – ?;
φ_C – ? φ'_C – ? φ_D – ? φ'_D – ?



15.8 pav., *a*

Sprendimas

Uždaviniui išspręsti taikome šias teorines žinias apie elektrostatinį lauką:

a) elektrinio lauko stipris bet kuriame lauko taške apskaičiuojamas pagal formulę $E = \frac{kq}{r^2}$ (**1**);

b) pagal laukų superpozicijos principą, jeigu lauką kuria du krūviai, tai atstojamojo elektrinio lauko stipris nagrinėjamame taške yra lygus tų krūvių sukurtų laukų stiprių geometrinei sumai: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$;

c) elektrinio lauko, kurį sukuria krūvis, potencialas apskaičiuojamas pagal formulę $\varphi = \frac{kq}{r}$ (**2**);

d) jeigu elektrinį lauką kuria du krūviai, tai atstojamojo elektrinio lauko potencialas yra lygus algebrinei sumai potencialų φ_1 ir φ_2, kuriuos nagrinėjamame lauko taške sukuria krūviai q_1 ir q_2.

Iš 15.8 paveikslo, *a*, matyti, kad krūviai q_1 ir q_2 nuo nagrinėjamo lauko taško *C* yra nutolę vienodu atstumu: $AC = AB = r$. Šį atstumą randame iš stačiojo trikampio *ACD* taikydami Pitagoro teoremą: $AC^2 = AD^2 + CD^2$. $AD = CD$, nes šio stačiojo trikampio du kampai yra lygūs 45°. Vadinasi, $AC^2 = 2\ AD^2$. Iš paveikslo matome ir tai, kad $AC = r$, o $AD = \frac{l}{2}$, todėl $r^2 = 2 \cdot \frac{l^2}{4} = \frac{l^2}{2}$ (**3**).

Kadangi atstumai nuo krūvių iki nagrinėjamo lauko taško *C* lygūs ($AC = AB = r$), tai ir tų krūvių sukurtų elektrinių laukų stipriai yra vienodo didumo ir apibūdinami lygtimi, kuri gaunama **3** lygtį įrašius į **1**: $E_1 = E_2 = \frac{2\,kq_1}{l^2}$ (**4**). Atstojamojo elektrinio lauko stiprį taške *C* randame taip: $E_C^2 = E_1^2 + E_2^2$. Šią išraišką pertvarkę ir įrašę į **4** lygtį, gauname: $E_C^2 = 2 \cdot E_1^2$ (nes $E_1 = E_2$), arba

$E_C = \sqrt{2} \cdot E_1 = \sqrt{2}\frac{2kq_1}{l^2}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame E_C:

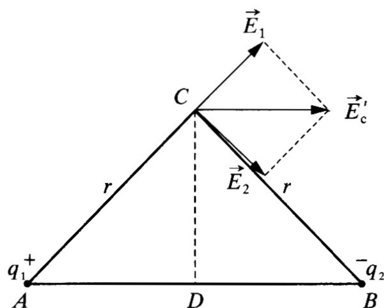
$$E_C = \sqrt{2}\frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-8}\text{C}}{(0{,}6\ \text{m})^2} \approx 1{,}4 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{C}} \approx 1{,}4\ \text{kN/C}.$$

Atstojamojo elektrinio lauko, kurį taške *C* sukūrė krūviai q_1 ir q_2, potencialas lygus atskirų krūvių potencialų φ_1 ir φ_2 algebrinei sumai: $\varphi_C = \varphi_1 + \varphi_2$. Kadangi krūviai yra lygūs ir nuo taško *C* nutolę vienodu atstumu ($AC = AB = r$), tai ir jų potencialai lygūs: $\varphi_1 = \varphi_2$. Vadinasi, $\varphi_C = 2\varphi_1$. Į pastarąją išraišką įrašome **2** ir **1** lygtis ir gauname: $\varphi_1 = \frac{kq_1}{\frac{l}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2} \cdot \frac{kq_1}{l}$ ir $\varphi_C = \sqrt{2} \cdot \frac{2kq_1}{l}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame φ_C: $\varphi_C = \sqrt{2} \cdot \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-8}\ \text{C}}{0{,}6\ \text{m}} \approx 840\ \text{V}$. Potencialo φ_C matavimo vienetus randame taip:

$$[\varphi_C] = \frac{\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \text{C}}{\text{m}} = \frac{\text{Nm}}{\text{C}} = \frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V}.$$

Jeigu lauką kuria skirtingų ženklų krūviai (15.8 pav., *b*), tai elektrinio lauko stiprio taške *C* skaitinė vertė E'_C bus tokia pati (pasikeis kryptis):
$E'_C = E_C \approx 1{,}4$ kN/C.

Lauko potencialas šiame taške $\varphi'_C = \varphi_1 - \varphi_2$, bet $\varphi_1 = \varphi_2$. Vadinasi, $\varphi'_C = 0$.

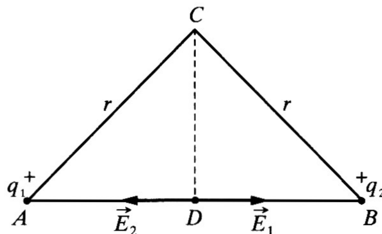


15.8 pav., *b*

Taškas *D* yra krūvius jungiančios atkarpos viduryje (15.8 pav., *c*). Vadinasi, šių krūvių sukurtų laukų stipriai yra vienodo didumo, bet priešingų krypčių (nes abu krūviai vienodų ženklų): $E_1 = E_2 = \dfrac{kq_1}{(0{,}5\,l)^2}$;

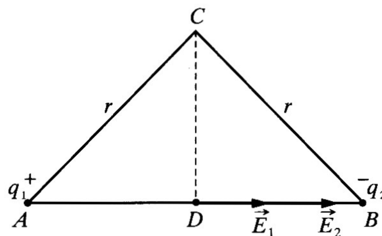
$$E_1 = E_2 = \frac{9\cdot10^9\,\dfrac{\mathrm{Nm}^2}{\mathrm{C}^2}\cdot 2\cdot10^{-8}\,\mathrm{C}}{(0{,}3\,\mathrm{m})^2} = 2\cdot10^3\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{C}} = 2\ \mathrm{kN/C}\quad (4).$$

Iš 15.8 paveikslo, *c*, matyti, kad atstojamojo elektrinio lauko stipris E_D taške *D* lygus $E_D = E_1 - E_2 = 0$.



15.8 pav., *c*

Jeigu krūviai yra nevienodų ženklų, tai atstojamojo elektrinio lauko stiprį E'_D galime apskaičiuoti remdamiesi 15.6 paveikslu, *d*: $E'_D = E_1 + E_2$.



15.8 pav., *d*

Įvertinę **4** lygties reikšmes, gauname:

$E'_D = 2E_1$. $E'_D = 2 \cdot 2 \cdot 10^3 \dfrac{\text{N}}{\text{C}} = 4 \cdot 10^3 \dfrac{\text{N}}{\text{C}} = 4\ \text{kN/C}$.

Vektoriaus E'_D kryptis taške D – neigiamojo krūvio link.

Kai krūvių ženklai vienodi, tai taško D potencialas lygus $\varphi_D = \varphi'_1 + \varphi'_2$, arba $\varphi_D = 2\varphi'_1$, nes $\varphi'_1 = \varphi'_2$. Remiantis krūvio sukurto lauko taške formule, φ'_1 lygus $\varphi'_1 = \dfrac{kq_1}{l} = \dfrac{2kq_1}{l}$. Vadinasi, $\varphi_D = 2 \cdot \dfrac{kq_1}{l} = \dfrac{4kq_1}{l}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame taško D potencialą, kai elektrinį lauką sukuria vienodo ženklo krūviai:

$$\varphi_D = \frac{4 \cdot 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot 2 \cdot 10^{-8}\ \text{C}}{0{,}6\ \text{m}} = 1200\ \text{V} = 1{,}2\ \text{kV}.$$

Kai krūviai yra skirtingų ženklų, $\varphi'_D = \varphi'_1 - \varphi'_2$. Akivaizdu, kad $\varphi'_D = 0$.

Atsakymas. Kai elektrinį lauką kuria vienodų ženklų krūviai, tai jo stipris taške C lygus 1,4 kN/m ir yra nukreiptas statmenai nagrinėjamajam lauko taškui, o šio taško potencialas – 840 V. Kai krūviai yra skirtingų ženklų, elektrinio lauko stiprio vektoriaus modulis nesikeičia, tik jo kryptis tampa horizontali, o potencialas lygus 0.

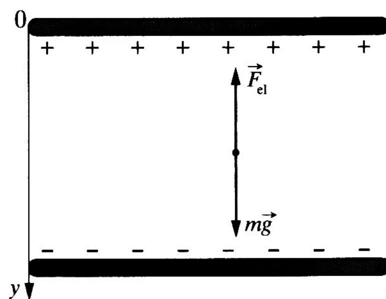
Taške D elektrinio lauko stipris lygus 0 (kai krūviai yra vienodų ženklų) ir 4 kN/C (kai krūviai yra skirtingų ženklų). Šio taško potencialas atitinkamai lygus 1,2 kV ir 0.

15.12* pavyzdys

Kelių elektronų perteklius turi būti $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ g masės dulkelėje, kad ji kybotų pusiausvira plokščiojo kondensatoriaus (15.9 pav.) elektriniame lauke? Plokštelių įtampa $5 \cdot 10^2$ V, atstumas tarp jų 0,5 cm.

$m = 1{,}5 \cdot 10^{-8}\ \text{g} = 1{,}5 \cdot 10^{-11}\ \text{kg}$
$U = 5 \cdot 10^2\ \text{V}$
$d = 0{,}50\ \text{cm} = 5 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$
$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$

n – ?



15.9 pav.

Sprendimas

Tarp elektrodų esanti dulkelė kybos pusiausvira (nejudės), jeigu ją veikiančių jėgų (sunkio ir elektrinio lauko sąveikos) atstojamoji bus lygi nuliui: $m\vec{g} + \vec{F}_{el} = 0$. Teigiamą y ašies kryptį sutapatiname su laisvojo kritimo pagreičio kryptimi ir, suprojektavę dulkelę veikiančias jėgas į šią ašį, gauname: $mg - F_{el} = 0$, arba $F_{el} = mg$ **(1)**. Jėga, kuria elektrinis laukas veikia dulkelę, apibūdinama formule $F_{el} = qE = neE$; čia q – elektros krūvis, esantis dulkelėje; e – vieno elektrono (elementariojo krūvio)

krūvis; n – elektronų skaičius. Pasinaudoję elektrinio lauko siprio ir įtampos sąryšiu, gauname: $F_{el} = \frac{neU}{d}$ (**2**). Įrašę **2** išraišką į **1** lygtį, gauname: $\frac{neU}{d} = mg$. Matematiškai pertvarkę lygtį, randame elektronų skaičiaus dulkelėje išraišką: $n = \frac{mgd}{eU}$. Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame n:

$$n = \frac{1{,}5 \cdot 10^{-11}\,\text{kg} \cdot 9{,}8\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 5 \cdot 10^{2}\ \text{V}} = 9200.$$

Atsakymas. Dulkelėje turi būti 9200 elektronų perteklius.

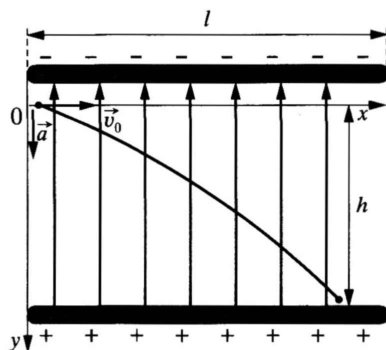
15.13* pavyzdys

Elektroninių spindulių vamzdyje elektronai įlekia į tarpą tarp plokščiojo kondensatoriaus elektrodų, turėdami $8 \cdot 10^3$ eV energiją. Elektrodų ilgis $4 \cdot 10^{-2}$ m, atstumas tarp jų $2 \cdot 10^{-2}$ m. Kokia turi būti kondensatoriaus įtampa, kad elektronų pluoštelis išeitų iš tarpo nukrypęs $8 \cdot 10^{-3}$ m?

$W_k = 8 \cdot 10^3$ eV $= 8 \cdot 10^3 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J $= 12{,}8 \cdot 10^{-16}$ J
$l = 4 \cdot 10^{-2}$ m
$d = 2 \cdot 10^{-2}$ m
$h = 8 \cdot 10^{-3}$ m
$q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

U – ?

Sprendimas



15.10 pav.

Pirmiausia nusibraižome brėžinį (15.10 pav.) ir koordinačių ašių pradžią sutapatiname su tašku, kuriame pradiniu laiko momentu (įlėkęs į kondensatorių) buvo elektronas. Elektrono judėjimas kondensatoriaus viduje yra sudėtinis, nes jis vienu metu dalyvauja dviejuose judėjimuose: horizontalia kryptimi (x ašies atžvilgiu) tolygiajame – juda pastoviu greičiu $\vec{v}_0$ ir vertikalia kryptimi (y ašies atžvilgiu) – tolygiai greitėjančiame judėjime juda pagreičiu $\vec{a}$ vertikaliai žemyn). Pagreitį $\vec{a}$ elektronui suteikia elektrinio lauko jėga $F_e = q_e E$ (**1**).

Elektrono judėjimui vertikalia kryptimi taikome antrąjį Niutono dėsnį $\vec{F}_e = m\vec{a}$. Pastarąją lygtį perrašome skaliarine forma y ašies atžvilgiu ir gauname: $F_e = ma$ (**2**). Į **2** lygtį įrašome **1** ir gauname, kad $q_e E = ma$. Iš pastarosios lygties išreiškiame elektrono judėjimo pagreitį: $a = \frac{q_e E}{m}$ (**3**). Įlėkusio tarp kondensatoriaus plokštelių

elektrono pradinis greitis v_{0y} vertikalia kryptimi yra lygus nuliui, todėl aukštis h, kurį pralėkdamas tarp plokščių pasislenka elektronas vertikaliai žemyn, apibūdinamas formule $h=\frac{at^2}{2}$ (**4**). Elektrono judėjimo kondensatoriuje laikui rasti taikome tolygiojo judėjimo kelio išraišką $l = v_0 t$, iš kurios $t=\frac{l}{v_0}$ (**5**). Elektrono greitį v_0 randame iš jo kinetinės energijos formulės $W_k=\frac{mv_0^2}{2}$; $v_0=\sqrt{\frac{2W_k}{m_e}}$ (**6**).

Į **4** lygybę įrašome **3** ir **5** išraiškas: $h=\frac{q_e E l^2}{2m_e v_0^2}$. Į pastarąją lygtį įrašę **6** išraišką ir matematiškai pertvarkę reiškinį, gauname elektrinio lauko stiprio lygtį:

$E=\frac{4hW_k}{q_e l^2}$ (**7**).

Iš teorijos žinomas ryšys tarp elektrinio lauko stiprio ir potencialų skirtumo arba įtampos: $E=\frac{U}{d}$ (**8**). Matome, kad **7** ir **8** lygčių kairiosios pusės yra lygios, vadinasi, ir dešiniosios jų pusės lygios: $\frac{U}{d}=\frac{4hW_k}{q_e l^2}$. Iš čia $U=\frac{4hW_k}{q_e l^2}d$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame įtampą:

$$U=\frac{4\cdot 8\cdot 10^{-3}\ \text{m}\cdot 12{,}8\cdot 10^{-16}\ \text{J}}{1{,}6\cdot 10^{-19}\ \text{C}\cdot(4\cdot 10^{-2}\ \text{m})^2}\cdot 2\cdot 10^{-2}\ \text{m}=3200\ \text{V}=3{,}2\ \text{kV}.$$

Atsakymas. Kondensatoriaus įtampa lygi 3,2 kV.

15.1. Ar galima trinant įelektrinti žalvario lazdelę? Atsakymą pagrįskite.

15.2. Kaip galima nustatyti, kokio ženklo krūviu įelektrintas elektroskopas, turint ebonitinę lazdelę ir gelumbės?

15.3. Kodėl, pilant benziną į autocisterną, cisterna ir indas, iš kurio teka benzinas, sujungiami laidu ir įžeminami?

15.4. Du vienodo didumo ir ženklo krūviai, esantys vakuume 3,0 m atstumu, stumia vienas kitą 0,40 N jėga. Kokio didumo yra kiekvienas krūvis?

15.5. Kokia jėga sąveikauja du $0{,}66\cdot 10^{-7}$ C ir $1{,}1\cdot 10^{-5}$ C krūviai, būdami vandenyje 3,3 cm atstumu vienas nuo kito? Kokiu atstumu juos reikia padėti vakuume, kad sąveikos jėga liktų ta pati?

15.6. Du krūviai, kurių vienas yra tris kartus didesnis už kitą, būdami vakuume 0,3 m atstumu, sąveikauja 30 N jėga. Koks šių krūvių didumas? Koks turėtų būti atstumas tarp jų vandenyje, kad sąveikos jėga išliktų tokia pati?

15.7. Kokiu principu veikia elektrostatinės apsaugos įtaisai? Kokiu tikslu ant kai kurių radijo lempų uždedami metaliniai gaubtai? Atsakymus išsamiai paaiškinkite.

15.8. Automobilių gamyklose, dažant paviršius elektrostatiniu būdu, dažomosios detalės slenka po elektrodu – metaliniu tinkleliu, sujungtu su vienu aukštos įtampos šaltinio poliumi. Pro tinklelį – elektrodą purškiami dažai. Kokia turi būti patenkinta sąlyga, kad dažų lašeliai judėtų tik prie detalių?

15.9. Du vienodi metaliniai rutuliai, turintys $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ C ir $8 \cdot 10^{-7}$ C krūvį, yra vandenyje $4 \cdot 10^{-2}$ m atstumu vienas nuo kito. Rutuliai artinami, kol susiliečia, ir vėl tolinami iki to paties atstumo. Kokia jėga jie veikia vienas kitą bandymo pradžioje ir pabaigoje?

15.10. Du vienodi laidūs rutuliukai, turintys $-1{,}5 \cdot 10^{-5}$ C ir $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ C krūvį, pritraukė vienas kitą, susilietė ir po to vėl nutolo 5 cm atstumu vienas nuo kito. Koks dabar yra kiekvieno rutuliuko krūvis ir kokia jėga jie sąveikauja?

15.11. Du taškiniai krūviai, $1{,}66 \cdot 10^{-9}$ C ir $3{,}33 \cdot 10^{-9}$ C didumo, nutolę vienas nuo kito 20 cm atstumu. Kur turėtų būti trečiasis krūvis, kad jis būtų pusiausviras su dviem pirmaisiais taškiniais krūviais?

15.12. Du metaliniai 5 cm skersmens rutuliukai yra transformatorinėje alyvoje. Atstumas tarp jų centrų 5 cm. Apskaičiuokite, koks yra šių rutuliukų paviršinis krūvio tankis, jeigu jie tarpusavyje sąveikauja 2,2 mN jėga.

15.13. Prieš perkūniją elektrinio lauko stipris arti žemės kartais padidėja iki $3 \cdot 10^{6}$ V/m. Kokia jėga veikia tas laukas dulkelę, turinčią $4 \cdot 10^{-8}$ C krūvį?

15.14. Elektrinio lauko taške $2 \cdot 10^{-7}$ C krūvį veikia 15 mN jėga. Koks yra elektrinio lauko stipris tame taške?

15.15. Kokia jėga elektrinis laukas veikia $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ C krūvį, esantį taške, kuriame lauko stipris lygus $0{,}4 \cdot 10^{5}$ N/C?

15.16. Kokio stiprio elektrinį lauką sukuria taškinis $8 \cdot 10^{-6}$ C krūvis taške, nutolusiame nuo jo 30 cm atstumu?

15.17. Glicerine elektrinį lauką kuria taškinis $7 \cdot 10^{-8}$ C krūvis. Apskaičiuokite to lauko stiprį taške, nutolusiame nuo krūvio 7 cm atstumu.

15.18. Kokio didumo krūvis kuria elektrinį lauką vakuume, jeigu 9 cm atstumu nuo jo lauko stipris lygus $4 \cdot 10^{5}$? Kiek arčiau krūvio reikėtų imti tašką, kad jame liktų ankstesnis lauko stipris, krūvį įdėjus į medžiagą, kurios $\varepsilon = 2$?

15.19. Kokia aplinka gaubia taškinį $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ C elektros krūvį, jeigu 5 cm atstumu nuo jo lauko stipris lygus $2 \cdot 10^{4}$ N/C? Apskaičiuokite tos aplinkos absoliučiąją dielektrinę skvarbą.

15.20.* Du rutuliukai, kurių kiekvieno svoris $2 \cdot 10^{-2}$ N, pakabinti ore ant 2 m ilgio šilkinių siūlų. Rutuliukams suteikiami vienodo didumo $5 \cdot 10^{-8}$ C elektros krūviai. Apskaičiuokite, kokiu atstumu jie nutolo vienas nuo kito.

15.21.* 2 g masės rutuliukas, kurio krūvis $2 \cdot 10^{-8}$ C, pakabintas ore ant plono izoliuoto siūlo. Apskaičiuokite siūlo įtempimo jėgą, jeigu iš apačios po šiuo rutuliuku 5 cm atstumu yra padėtas kitas tokio paties ženklo $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ C krūvio rutuliukas.

15.22.* 1 g masės rutuliukas, kurio krūvis $9{,}8 \cdot 10^{-8}$ C, pakabintas ore ant plono šilkinio siūlo. Priartinus prie jo 4 cm atstumu kitą priešingo ženklo krūvį q_2, siūlas atsilenkė 45° kampu nuo vertikalios padėties. Apskaičiuokite krūvio q_2 didumą.

15.23.* Lygiakraščio trikampio, kurio kraštinės ilgis 6 cm, viršūnėse išsidėstę krūviai $q_1 = +6 \cdot 10^{-9}$ C ir $q_2 = q_3 = -8 \cdot 10^{-9}$ C. Nustatykite jėgos didumą ir kryptį jėgos, veikiančios krūvį $q = +6{,}67 \cdot 10^{-9}$ C, esantį trikampio centre.

15.24. Laidus 5 cm spindulio rutulys įelektrintas teigiamu $8{,}84 \cdot 10^{-5}$ C/m^2 paviršiniu krūviu. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį 5 cm atstumu nuo rutulio paviršiaus.

15.25.* Elektrinio lauko stipris tarp kondensatoriaus plokštelių lygus 6 kV/m. Apskaičiuokite šiame lauke esančios dulkelės masę, jeigu ji yra pusiausvira ir turi $1{,}63 \cdot 10^{-11}$ C elektros krūvį.

15.26.* Vienalyčiame elektriniame lauke, kurį kuria dvi vertikalios plokštelės, ant plono šilkinio siūlo pakabinamas 2 g masės rutuliukas. Jo krūvis 10^{-6} C. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį, jeigu siūlas atsilenkė 30° kampu.

15.27. Apskaičiuokite Žemės rutulio elektros krūvį, jeigu žinoma, kad elektrinio lauko stipris jos paviršiuje lygus 130 V/m.

15.28. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį viduriniame taške tarp dviejų kūnų, turinčių $+2 \cdot 10^{-7}$ C ir $-4 \cdot 10^{-7}$ C krūvį, kurie yra transformatorinėje alyvoje 10 cm atstumu vienas nuo kito.

15.29.* Kvadrato, kurio kraštinės ilgis 10 cm, viršūnėse yra trys neigiamo ženklo ir vienas teigiamo ženklo krūviai, kurių kiekvieno didumas lygus $7 \cdot 10^{-8}$ C. Apskaičiuokite elektrinio lauko stiprį kvadrato centre.

15.30.* Kokiu pagreičiu kris 1 g masės rutuliukas, suteikus jam 10^{-6} C elektros krūvį? Žemės elektrinio lauko stipris lygus 130 V/m ir yra nukreiptas Žemės paviršiaus link.

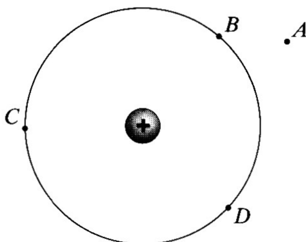
15.31. Perkeliant 120 μC krūvį iš taško, kuriame lauko nėra, į nurodytą lauko tašką, buvo atliktas $6 \cdot 10^{-4}$ J darbas. Apskaičiuokite lauko potencialą tame taške.

15.32. Kokį darbą atlieka elektrinis laukas, perkeldamas 4,6 μC krūvį turintį kūną tarp taškų, kurių potencialų skirtumas lygus 2 kV?

15.33. Elektrinį lauką kuria taškinis $4 \cdot 10^{-7}$ C krūvio kūnas, esantis transformatinėje alyvoje. Apskaičiuokite lauko stiprį ir potencialą taške, nutolusiame nuo krūvio 20 cm atstumu. Aplinkos santykinė dielektrinė skvarba lygi 2,5.

15.34. Elektrinį lauką glicerine kuria taškinis $0{,}9 \cdot 10^{-8}$ C krūvis. Apskaičiuokite dviejų taškų, nutolusių nuo krūvio 3 cm ir 12 cm atstumu, potencialų skirtumą.

15.35. Palyginkite darbą, kurį atlieka elektrinis laukas krūviui q judant iš taško A į taškus B, C, D (15.11 pav.).



15.11 pav.

15.36. Apskaičiuokite, koks darbas atliekamas perkeliant $4 \cdot 10^{-9}$C krūvį vienalyčiame 600 V/cm stiprio elektriniame lauke. Atstumas, kuriuo perkeliamas krūvis. lygus 5 cm ir su elektrinio lauko jėgų linijomis sudaro 60° kampą.

15.37. Apskaičiuokite darbą, atliekamą perkeliant $2 \cdot 10^{-6}$ C krūvį iš taško, kuris yra 20 cm atstumu nuo taškinio $3 \cdot 10^{-6}$ C krūvio, į tašką, esantį 50 cm atstumu nuo šio krūvio. Krūviai išsidėstę ore.

15.38. Elektrono orbitos vandenilio atome spindulys lygus $5 \cdot 10^{-9}$ cm. Apskaičiuokite lauko potencialą, kurį sukuria elektronas šios orbitos taškuose.

15.39. 0,9 m atstumu nuo rutulio, kurio spindulys 10 cm, paviršiaus yra taškinis $7 \cdot 10^{-9}$ C elektros krūvis. Rutulio paviršinis krūvio tankis lygus $3 \cdot 10^{-5}$ C/m^2. Apskaičiuokite darbą, kuris atliekamas, pernešant taškinį krūvį oru į tašką, esantį 50 cm atstumu nuo rutulio centro.

15.40. Du absoliučiai vienodi 1 cm spindulio rutuliukai yra žibale 10 cm atstumu vienas nuo kito. Elektrostatinės sąveikos jėga tarp jų lygi $3{,}2 \cdot 10^{-4}$ N. Koks yra šių rutuliukų potencialas?

15.41. Elektronas, skriejantis nuo taško, kurio potencialas 6 kV, išilgai elektrinio lauko jėgų linijų, įgyja $3 \cdot 10^{7}$ m/s greitį. Apskaičiuokite taško, kuriame elektrono greitis bus lygus nuliui, potencialą.

15.42. Elektronas juda neigiamojo jono link. Jono krūvis lygus trigubam elektrono krūviui. Pradiniu laiko momentu elektronas yra labai toli nuo jono ir jo greitis lygus 10^{5} m/s. Kokiu mažiausiu atstumu elektronas gali priartėti prie jono?

15.43. Ar visada vienodi izoliuoti laidininkai turi vienodą elektrinę talpą? Atsakymą paaiškinkite. Kuo pavojingos išjungtos grandinės, kuriose yra kondensatorių? Ką reikia padaryti, išjungus tokią grandinę?

15.44. Suteikus 0,008 C krūvį, laidininkas įgijo 1000 V potencialą. Kokia yra jo talpa? Kokios talpos yra kondensatorius, kurio elektrodai – $4{,}7 \cdot 10$ m^2 ploto staniolio lakštai, atskirti 15 parafinuoto popieriaus lakštų? Lakšto storis 0,03 mm.

15.45. Įelektrinus 0,020 μF talpos plokščiąjį kondensatorių, jame susidarė 320 V/cm stiprio elektrinis laukas. Atstumas tarp plokščių 0,5 cm. Koks krūvis sukauptas kondensatoriuje? Kokia būtų įtampa, dvigubai padidinus atstumą tarp plokščių? Kokią energiją sukaupia kondensatorius abiem atvejais?

15.46. Žėrutinio kondensatoriaus elektrodų plotas 36 cm^2, dielektriko sluoksnio storis 0,14 cm. Apskaičiuokite kondensatoriaus talpą, jame sukauptą elektros krūvį ir energiją, kai elektrodų įtampa lygi $3 \cdot 10^{2}$ V. Žėručio santykinė dielektrinė skvarba lygi 7.

15.47. Plokščiojo žėrutinio kondensatoriaus kiekvieno elektrodo plotas 300 cm^2, žėručio sluoksnio storis 1 mm. Kokia buvo įtampa tarp elektrodų, jei žinoma, kad, kondensatoriui išsikraunant, išsiskyrė 0,21 J šilumos?

15.48.* Du rutuliukai, turintys vienodus krūvius, iš pradžių buvo inde su –18 °C temperatūros ledu 20 cm atstumu vienas nuo kito. Kai ledas pavirto 0 °C temperatūros vandeniu, kad sąveika nepasikeistų, rutuliukus teko suartinti iki 3,8 cm. Apskaičiuokite ledo dielektrinę skvarbą, jeigu vandens dielektrinė skvarba 0 °C temperatūroje lygi 88.

15.49.* Kokia yra transformatorinės alyvos absoliučioji dielektrinė skvarba, jeigu vienodi krūviai, būdami alyvoje 0,140 m atstumu, sąveikauja tokia pat jėga, kaip būdami vakuume 20 cm atstumu? Kokio didumo tie krūviai, jeigu sąveikos jėga lygi 900 N?

15.50.* Du taškiniai elektros krūviai, $60 \cdot 10^{-9}$ C ir $2,4 \cdot 10^{-7}$ C, yra transformatorinėje alyvoje 16 cm atstumu vienas nuo kito. Kur tarp jų reikia padėti trečiąjį $30 \cdot 10^{-5}$ C krūvį, kad elektrinės sąveikos jėgos jį laikytų pusiausvyroje? Ar stabili bus toji pusiausvyra? Ar sutriks pusiausvyra, jeigu trečiasis krūvis pasikeis?

15.51.* Elektrinį lauką kuria $5 \cdot 10^{-4}$C ir $-5 \cdot 10^{-4}$C krūviai, esantys taškuose *A* ir *B* 10 cm atstumu vienas nuo kito. Kokia jėga veiks lašelį, esantį simetrijos ašyje 5 cm atstumu nuo atkarpos *AB* vidurio ir turintį 10 elektronų krūvį? Kokį pradinį pagreitį ji suteiks lašeliui, jeigu jo masė lygi $0,4 \cdot 10^{-7}$ kg?

15.52.* Lauką kuria du lygūs vienodų ženklų krūviai, esantys tam tikru atstumu vienas nuo kito. Kam lygus lauko stipris juos jungiančios atkarpos vidurio taške? Ar išliktų elektrinio lauko stipris toks pat, jeigu pasikeistų vieno krūvio ženklas?

15.53.* $2 \cdot 10^{-8}$ C ir $1,6 \cdot 10^{-7}$ C elektros krūviai yra 5 cm atstumu vienas nuo kito. Apskaičiuokite lauko stiprį taške, nutolusiame nuo pirmojo krūvio 3 cm ir nuo antrojo 4 cm atstumu.

15.54.* Priešingose kvadrato viršūnėse yra vienodi $2 \cdot 10^{-7}$C elektros krūviai. Kokio didumo lauko stipris yra kitose dviejose viršūnėse, jeigu kvadrato kraštinės ilgis 30 cm?

15.55.* $1 \cdot 10^{-4}$ g masės lašelis nejudėdamas kybo vienalyčiame 98 N/C stiprio elektriniame lauke. Koks yra to lašelio elektros krūvis?

15.56.* Elektronas $1,8 \cdot 10^{4}$ m/s greičiu įlekia į vienalytį 0,003 N/C stiprio elektrinį lauką vakuume ir juda priešinga jėgų linijoms kryptimi. Koks bus jo pagreitis ir greitis, nulėkus lauke 7,1 cm? Per kiek laiko elektronas įgis tą greitį?

15.57.* Elektronas, patekęs į vienalytį elektrinį lauką vakuume, juda lauko stiprio linijų kryptimi. Per kiek laiko jo greitis bus lygus $1,8 \cdot 10^{3}$ km/s, o lauko stipris – 90 M/C?

15.58. Kam lygus potencialų skirtumas tarp laidaus įelektrinto rutulio paviršiaus taško ir taško rutulio viduje? Atsakymą pagrįskite.

15.59. Koks yra dviejų taškų potencialų skirtumas, jeigu, pratekant tarp šių taškų 0,012 C krūviui, elektrinis laukas atliko 0,36 J darbą?

15.60.* 4 cm spindulio rutuliukas, panardintas žibale, yra įelektrintas iki 180 V potencialo. Koks yra jo krūvis? Kokį darbą atlieka elektrinis laukas, perkeldamas $0,5 \cdot 10^{-10}$ C krūvį 8 cm atstumu nuo rutuliuko paviršiaus išilgai jėgų linijos?

15.61. Tarp dviejų įelektrintų plokštelių susidarė vienalytis 250 V/cm stiprio elektrinis laukas. Kokia yra įtampa tarp plokštelių, jeigu atstumas tarp jų 4 cm? Kokia jėga laukas veikia $6 \cdot 10^{-6}$ C krūvį?

15.62.* $1 \cdot 10^{-11}$ g masės dulkelė, kurios krūvis lygus 20 elementariųjų krūvių, laikosi pusiausvyroje tarp dviejų lygiagrečių plokštelių. Tų plokštelių potencialai skiriasi 153 V. Kokiu atstumu išdėstytos plokštelės?

15.63. Du skirtingo skersmens laidūs rutuliai, esantys ore, įelektrinti vienodais krūviais; palyginkite jų potencialus. Du vienodi laidūs rutuliai, esantys vakuume, įelektrinti skirtingais krūviais; palyginkite jų potencialus.

15.64. Liečiantis su metalinių formų sienelėmis, štampuotų plastmasinių detalių paviršiuose atsiranda statinis krūvis. Kodėl, detalę išimant iš formos, padidėja įelektrinto paviršiaus potencialas Žemės atžvilgiu? Atsakymą pagrįskite.

15.65. Kondensatorių sudaro dvi plokštelės, tarp kurių yra 0,1 cm storio žėručio lapelis. Kiekvienos plokštelės plotas lygus 200 cm^2. Kokia yra tokio kondensatoriaus talpa?

15.66. Kokį krūvį reikia suteikti 2 μF talpos kondensatoriui, kad jis įsikrautų iki 400 V potencialų skirtumo?

15.67. Kondensatoriaus elektrodai padaryti iš 1,5 m ilgio ir 0,9 m pločio aliuminio folijos, o į tarpą įdėtas 10^{-4} m storio parafinuotas popierius. Kokia to kondensatoriaus talpa? Kokį didžiausią krūvį gali sukaupti kondensatorius, jeigu jam tinkama įtampa yra ne didesnė nei 250 V? Parafino dielektrinė skvarba lygi 2.

15.68. Į tarpą tarp plokščiojo kondensatoriaus elektrodų per visą jo plotą buvo įdėtas žėručio (izoliatoriaus) lakštelis. Kaip dėl to pasikeitė kondensatoriaus talpa ir krūvis?

15.69.* Kokį potencialą įgijo $0{,}45 \cdot 10^{-11}$ F talpos metalinis rutuliukas, būdamas ore ir gavęs $1{,}8 \cdot 10^{-7}$ C krūvį? Koks to rutuliuko spindulys?

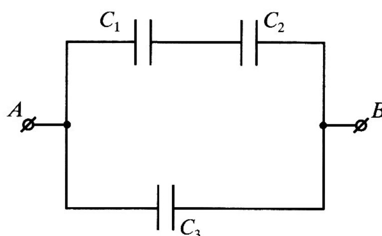
15.70.* Rutuliukai, kurių talpos 6 pF ir 9 pF, įelektrinti iki 200 V ir 800 V potencialų. Apskaičiuokite bendrą jų krūvį. Koks būtų sujungtų rutuliukų potencialas?

15.71.* Nežinomos talpos kondensatorius, įelektrintas iki 1 kV įtampos, buvo sujungtas lygiagrečiai su kitu 2 μF talpos kondensatoriumi, įelektrintu iki 400 V įtampos. Tada įtampa tarp elektrodų pasidarė lygi 570 V. Apskaičiuokite pirmojo kondensatoriaus talpą ir bendrą jų talpą.

15.72.* Ar galima, turint du vienodos talpos kondensatorius, gauti talpą, dvigubai didesnę ir dvigubai mažesnę negu vieno iš tų kondensatorių? Jeigu galima, tai kaip tai padaryti?

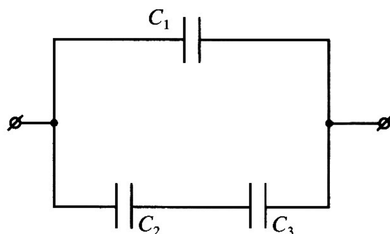
15.73. 6 μF talpos kondensatorius, įelektrintas iki 400 V įtampos, sujungiamas lygiagrečiai su neįelektrintu 10 μF talpos kondensatoriumi. Kokia įtampa nusistovi tarp abiejų kondensatorių elektrodų? Kaip juose pasiskirsto krūvis?

15.74. Trys kondensatoriai sujungti, kaip parodyta 15.12 paveiksle. Prie taškų A ir B prijungta 250 V įtampa, o kondensatorių talpos yra: $C_1 = 1{,}5$ μF, $C_2 = 3$ μF, $C_3 = 4$ μF. Kokį krūvį ir kokią energiją yra sukaupę visi kondensatoriai?



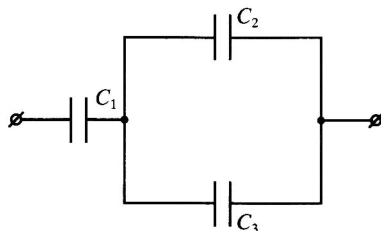
15.12 pav.

15.75. 15.13 paveiksle pavaizduotos kondensatorių baterijos talpa lygi 5,8 μF. Kokia yra pirmojo kondensatoriaus talpa ir koks jame sukauptas krūvis, jeigu C_2 = 1μF, C_3 = 4 μF, o prie jo elektrodų prijungta įtampa lygi 220 V?



15.13 pav.

15.76. Trys kondensatoriai, kurių talpos $C_1 = C_2 = 1$ μF ir $C_3 = 2$ μF, sujungti pagal 15.14 paveiksle parodytą schemą ir prijungti prie 120 V nuolatinės įtampos šaltinio. Apskaičiuokite bendrą jų talpą, kiekvieno kondensatoriaus krūvį ir įtampą.



15.14 pav.

15.77. Du kondensatoriai, kurių talpos 4 μF ir 1 μF, sujungti nuosekliai ir prijungti prie 220 V nuolatinės įtampos šaltinio. Kokia yra jų bendra talpa? Kaip pasiskirsto įtampa tarp kondensatorių?

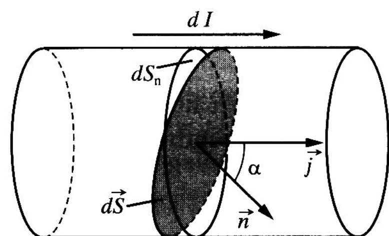
15.78.* Elektronas įlekia į plokščiąjį orinį kondensatorių lygiagrečiai su jo elektrodais $3 \cdot 10^7$ m/s greičiu. Išlėkęs iš jo, nukrypsta nuo pradinės krypties $1{,}76 \cdot 10^{-3}$ m. Kondensatoriaus ilgis 3 cm, atstumas tarp elektrodų $2 \cdot 10^{-2}$ m, potencialų skirtumas 400 V. Apskaičiuokite elektrono krūvio ir masės santykį.

15.79.* Elektronas įlekia 10^7 m/s greičiu į plokščiąjį kondensatorių lygiagrečiai su jo elektrodais. Atstumas tarp elektrodų lygus 0,1 m, potencialų skirtumas 600 V, elektrodo ilgis 5 cm. Kiek nukryps elektronas?

16. Nuolatinės srovės dėsniai

Elektros srove **vadinamas** kryptingas krūvininkų judėjimas. Jeigu elektrai laidžioje terpėje krūvininkai juda veikiami elektrinio lauko, susidaro laidumo srovė (pvz., metaluose). Dėl krūvininkų mechaninio judėjimo (pvz., judant įelektrintam audros debesiui arba dėl trinties įsielektrinus transporterio juostai) susidaro konvekcinė srovė. Pagrindinės sąlygos elektros srovei atsirasti: 1) medžiagoje (laidžioje terpėje) turi būti laisvų įelektrintų dalelių (krūvininkų); 2) reikia jėgos, veikiančios įelektrintas daleles tam tikra kryptimi (elektrinio lauko).
Elektros srovė pasižymi šiluminiu, magnetiniu, cheminiu ir šviesos poveikiu.

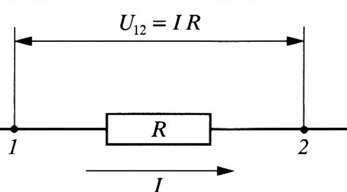
Srovės stipriu vadinamas krūvis, pratekantis laidžiosios terpės skerspjūviu per laiko vienetą: $I=\frac{\Delta q}{\Delta t}$; $[I]$ = A.
Srovės stipris yra skaliarinis dydis, nors bendrąja srovės kryptimi (išlenktame laidininke) yra susitarta laikyti teigiamųjų krūvių judėjimo kryptį. Vadinasi, jeigu krūvininkai yra elektronai, tai srovės kryptis yra priešinga jų judėjimo krypčiai. Nekintančios krypties srovė vadinama nuolatine, o srovė, kurios stipris nekinta, – pastoviąja.
Elektros srovė matuojama ampermetru, kuris į grandinę jungiamas nuosekliai.
Klasikinėje elektroninėje teorijoje srovės stipris apibūdinamas lygtimi $I = q_e n\bar{v}S$; čia $q_e = e$ = 1,6 · 10^{-19} C; n – elektronų koncentracija (elektronų skaičius tūrio vienete), $\bar{v}$ – kryptingo judėjimo (dreifo) vidutinis greitis; S – laidininko skerspjūvio plotas.



Srovės tankiu vadinamas srovės stipris, tenkantis srovei statmeno skerspjūvio ploto vienetui: $j=\frac{\Delta I}{\Delta S_n}$; $[j]=\frac{\text{A}}{\text{m}^2}$. Tai vektorinis dydis, apibūdinantis srovės kryptį ir srovės stiprio pasiskirstymą visuose skerspjūvio taškuose.

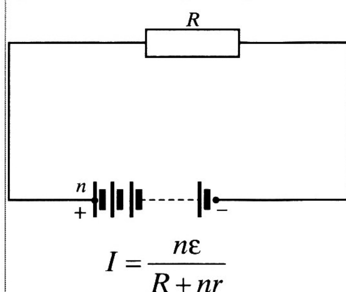
Varža vadinama laidžios terpės (pvz., laidininko) savybė priešintis kryptingam krūvininkų judėjimui.
$R=\rho\frac{l}{S}$; $[R]$ = Ω; čia ρ – savitoji varža; l – laidininko ilgis; S – skerspjūvio plotas.
Metalų savitoji varža temperatūrai didėjant didėja; esant toli nuo absoliučiojo nulio ir lydymosi taško temperatūros, savitoji varža, taip pat ir varža kinta tiesiogiai proporcingai temperatūrai: $\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha_R t)$; čia ρ_t – metalo savitoji varža t °C temperatūroje; ρ_0 – metalo savitoji varža 0 °C temperatūroje; α_R – temperatūrinis varžos koeficientas.
Elektriniu laidumu vadinamas fizikinis dydis, kuris priklauso nuo laidininko savybių ir yra atvirkščiai proporcingas varžai: $G=\frac{1}{R}$; $I = GU$; $[G]=\frac{\text{A}}{\text{V}}=\text{Sm}$. SI vienetų sistemoje elektrinis laidumas matuojamas simensais (Sm).

Omo dėsnis grandinės daliai ir uždarai grandinei

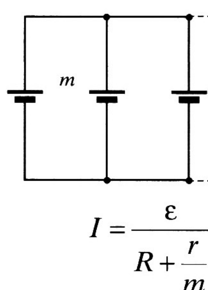


Elektros srovės stipris elektrinės grandinės dalyje yra tiesiogiai proporcingas tos grandinės dalies įtampai ir atvirkščiai proporcingas grandinės dalies varžai: $I = \dfrac{U}{R}$.

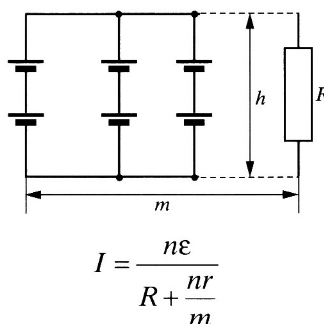
Omo dėsnis uždarai grandinei, kurioje yra elektrovaros šaltinis ε, turintis vidinę (savąją) varžą r, užrašomas taip: $I = \dfrac{\varepsilon}{R + r}$. Elektros srovės stipris uždaroje grandinėje yra tiesiogiai proporcingas grandinės elektrovarai ir atvirkščiai proporcingas jos išorinės ir vidinės varžų sumai (pilnutinei varžai). Elektrovara ε yra lygi pašalinių jėgų (neelektrinės kilmės jėgų) darbo, atliekamo perkeliant teigiamą vienetinį krūvį išilgai grandinės, ir to kūno santykiui.



$$I = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$$



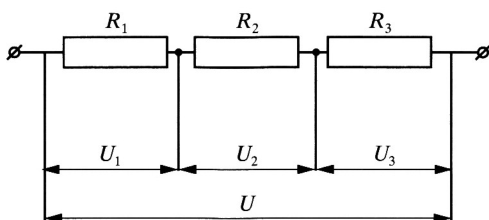
$$I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{m}}$$



$$I = \frac{n\varepsilon}{R + \frac{nr}{m}}$$

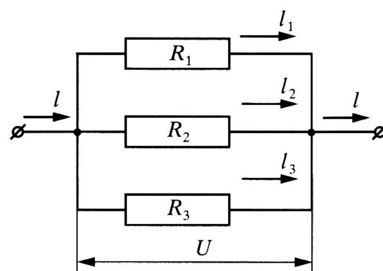
ε – vieno elemento elektrovara; r – vieno elemento vidinė varža; n – elementų skaičius; m – šakų skaičius lygiagrečiojo jungimo grandinėje.

Nuoseklusis laidininkų jungimas



$I_1 = I_2 = I_3 = I = \text{const}$,
$U = U_1 + U_2 + U_3$,
$R = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$.

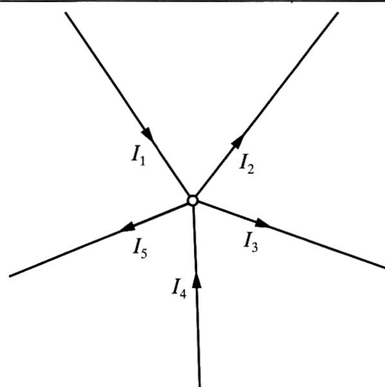
Lygiagretusis laidininkų jungimas



$I = I_1 + I_2 + I_3$,
$U_1 = U_2 = U_3 = U = \text{const}$,
$\dfrac{1}{R} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} + \dfrac{1}{R_3} + ... + \dfrac{1}{R_n}$.

Elektros srovės darbas	Džaulio Lenco dėsnis	Elektros srovės galia
$[A] = \text{J}$; $A = IU\Delta t$; $A = \frac{U^2}{R}\Delta t$.	$Q = I^2 R\Delta t$; 1 J = 1 Ws; 1 Wh = 3600 J; 1 kWh = $36 \cdot 10^5$J.	$P = \frac{A}{\Delta t}$; $[P] = \text{W}$; $P = IU$; $P = I^2 R$. $P = \frac{U^2}{R}$.

Kirchhofo dėsniai (taisyklės)



$$I_1 - I_2 - I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

Išsišakojusių grandinių parametrams skaičiuoti taikomos Kirchhofo taisyklės. Grandinės mazgu vadinamas trijų arba daugiau laidininkų, kuriais teka elektros srovės, bendras taškas. Pagal krūvio tvermės dėsnį krūvis negali susikaupti mazge, todėl bet kokiam mazgui taikytina pirmoji Kirchhofo taisyklė, kuri teigia, kad į mazgą įtekančių (teigiamųjų) ir iš jo ištekančių (neigiamųjų) srovių algebrinė suma lygi nuliui: $\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$;

čia n – mazgą sudarančių srovių skaičius.

Pagal pirmąją Kirchhofo taisyklę m mazgų grandinei galima užrašyti $(m - 1)$ nepriklausomų lygčių.

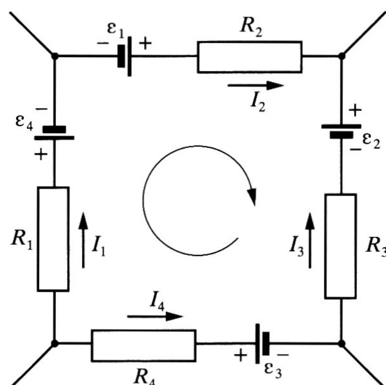
Antroji Kirchhofo taisyklė teigia, kad išsišakojusios grandinės bet kurio kontūro srovių I_i sandaugų iš atitinkamų varžų R_i algebrinė suma yra lygi šio kontūro elektrovarų ε_j algebrinei sumai: $\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{j=1}^{k} \varepsilon_j$;

čia n – kontūro dalių tarp mazgų skaičius, k – kontūro elektrovaros šaltinių skaičius.

Kontūro apėjimo kryptis (laikrodžio rodyklės kryptimi arba priešinga jai kryptimi) pasirenkama laisvai. Srovės laikomos teigiamomis, jei jų kryptys sutampa su kontūro apėjimo kryptimi, ir neigiamomis, jei nesutampa.

Iš Kirchhofo taisyklių gaunama nuosekliai sujungtų n varžų pilnutinės varžos formulė

$R_{\text{piln}} = \sum_{i=1}^{n} R_i$ ir lygiagrečiai sujungtų n varžų formulė $\frac{1}{R_{\text{piln}}} = \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{R_i}$.



$$I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4.$$

16.1 pavyzdys

Apskaičiuokite elektronų dreifo (kryptingo judėjimo) vidutinį greitį varyje, kai srovės tankis 10^7 A/m^2. Laidumo elektronų koncentracija varyje $8{,}4 \cdot 10^{28}$ m^{-3}.

$j = 10^7$ A/m^2
$n = 8{,}4 \cdot 10^{28}$ m^{-3}
$e = q_e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$\bar{v}$ – ?

Sprendimas

Taikome elektros srovės stiprio klasikinėje elektroninėje teorijoje išraišką $I = |qe| n\bar{v}S$. Abi šios lygties puses padalijame iš skerspjūvio ploto ir gauname srovės tankį j: $j = |q_e| n\bar{v}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame elektronų kryptingo judėjimo (dreifo) vidutinį greitį $\bar{v} = \frac{j}{|q_e| n}$ ir įrašome fizikinių dydžių vertes:

$$\bar{v} = \frac{10^7 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}}{\left|1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C}\right| \cdot 8{,}4 \cdot 10^{28}\text{m}^{-3}} = 7.4 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Elektronų dreifo vidutinis greitis varyje $7.4 \cdot 10^{-4}$ m/s. Palyginę jį su šiluminio judėjimo vidutiniu greičiu ($\approx 1{,}8 \cdot 10^5$ m/s), matome, jog jis yra 240 milijonų kartų mažesnis.

16.2 pavyzdys

Automobilio starterio galia 5,9 kW. Starterio gnybtų įtampa 12 V. Kokio stiprio elektros srovė teka starterio apvija variklio įjungimo momentu?

$P = 5{,}9$ kW $= 5{,}9 \cdot 10^3$ W
$U = 12$ V
I – ?

Sprendimas

Starterio apvija tekančios elektros srovės stiprį randame pasinaudoję galios lygtimi:

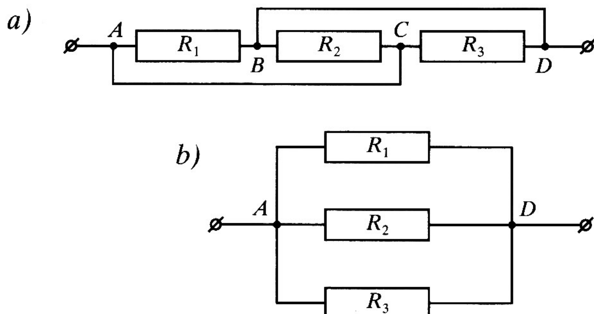
$$P = IU; \quad I = \frac{P}{U}; \quad I = \frac{5{,}9 \cdot 10^3 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 492 \text{ A}.$$

Atsakymas. Variklio įjungimo momentu starterio apvija teka 492 A stiprio elektros srovė.

16.3 pavyzdys

Kokia yra varža tarp taškų A ir D (16.1 pav., *a*), jeigu kiekviena iš trijų varžų lygi 1 Ω (jungiamųjų laidų varžos nepaisome)?

$R_1 = R_2 = R_3 = R = 1\Omega$
$n = 3$
R_{AD} – ?



16.1 pav.

Sprendimas

Kadangi taškai *A* ir *C*, taip pat taškai *B* ir *D* sujungti laidininkais, *a* schemą pakeičiame analogiška (16.1 pav., *b*) schema, kurios varžą tarp taškų *A* ir *D* galime apskaičiuoti pagal lygiagrečiai sujungtų laidininkų varžos formulę:

$\frac{1}{R_{AD}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{n}{R}$. Iš čia $R_{AD} = \frac{R}{n}$. Įrašę vertes, apskaičiuojame:

$R_{AD} = \frac{1\,\Omega}{3} \approx 0{,}33\,\Omega.$

Atsakymas. Varža tarp taškų *A* ir *D* apytiksliai lygi 0,33 Ω.

16.4 pavyzdys

Plieninio 10 m ilgio laido galų įtampa 6 V. Laisvųjų elektronų koncentracija $4 \cdot 10^{28}\ \text{m}^{-3}$. Apskaičiuokite laisvųjų elektronų kryptingo judėjimo (dreifo) greitį.

$l = 10$ m
$U = 6$ V
$n = 4 \cdot 10^{28}\ \text{m}^{-3}$
v – ?

Sprendimas

Laisvųjų elektronų kryptingo judėjimo greitį rasime iš elektros srovės stiprio lygties $I = q_e nvS$; $v = \frac{I}{q_e nS}$; čia *S* – laidininko skerspjūvio plotas; $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Kadangi $I = \frac{U}{R}$, o $R = \rho\frac{l}{S}$, tai greitis $v = \frac{U}{q_e \rho n l}$.

Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį:

$$v = \frac{6\,\text{V}}{1{,}2 \cdot 10^{-7}\,\Omega\text{m} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 4 \cdot 10^{28}\,\text{m}^{-3} \cdot 10\,\text{m}} \approx 7{,}8 \cdot 10^{-4}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Laisvųjų elektronų kryptingo judėjimo greitis apytiksliai lygus $7{,}8 \cdot 10^{-4}$ m/s.

16.5* pavyzdys

Apskaičiuokite 16.2 paveikslo *a* dalyje parodytos grandinės *ab* dalies varžą, kai $R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 1\,\Omega$; $R_3 = 10\,\Omega$; $R_4 = 8\,\Omega$.

$R_1 = R_2 = R_5 = R_6 = 1\,\Omega$
$R_3 = 10\,\Omega$
$R_4 = 8\,\Omega$
R_{ab} – ?

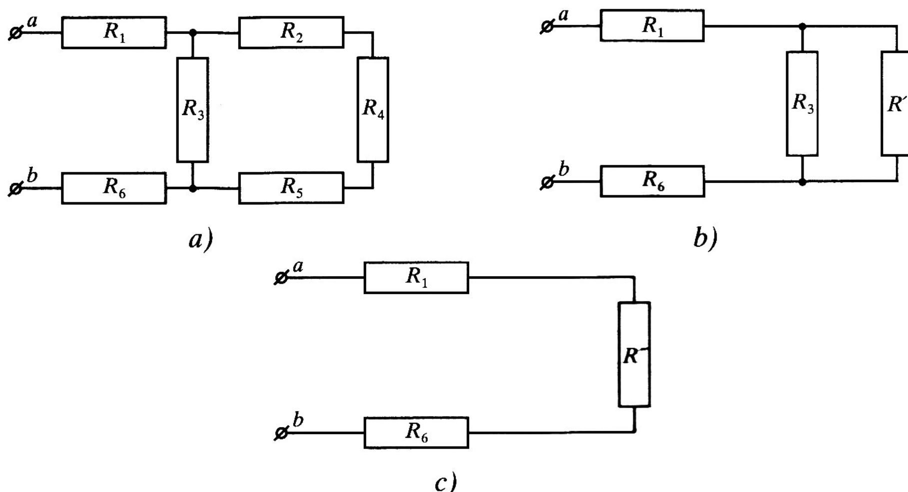
Sprendimas

Uždavinį patogiausia spręsti schemos suprastinimo būdu, pradedant nuo grandinės galo. Todėl nuosekliai sujungtus rezistorius R_2, R_4 ir R_5 pakeičiame vienu, kurio varža $R' = R_2 + R_4 + R_5 = 10\,\Omega$ (16.2 pav., *b*); $R' = 1\,\Omega + 8\,\Omega + 1\,\Omega = 10\,\Omega$.

Lygiagrečiai sujungtų rezistorių R_3 ir R' pilnutinė varža $R'' = \frac{R_3 \cdot R'}{R_3 + R'}$;

$R'' = \frac{10\,\Omega \cdot 10\,\Omega}{10\,\Omega + 10\,\Omega} = 5\,\Omega.$

Tuomet grandinės *ab* dalies (16.2 pav., *c*) varža $R_{ab} = R_1 + R'' + R_6$; $R_{ab} = 1\ \Omega + 5\ \Omega + 1\ \Omega = 7\ \Omega$.

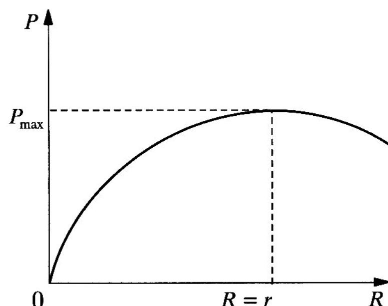


16.2 pav.

Atsakymas. Elektrinės grandinės *ab* dalies varža lygi 7 Ω.

16.6* pavyzdys

Kai apkrova teka 3 A stiprio elektros srovė, jos maksimali galia 9 W. Apskaičiuokite šaltinio elektrovarą ir vidinę varžą.



16.3 pav.

$I_0 = 3$ A
$P_{max} = 9$ W
ε – ? r – ?

Sprendimas

Elektros srovės naudinga galia $P = I^2R$ (**1**). Srovės stiprį randame iš Omo dėsnio uždarai grandinei $I = \dfrac{\varepsilon}{R+r}$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1**, gauname: $P = \dfrac{\varepsilon^2}{(R+r)^2}R$.

P priklausomybė nuo apkrovos varžos parodyta 16.3 paveiksle. Iš grafiko aišku, kad $P = P_{max}$, kai $R = r$. Vadinasi, iš galios lygties galime rasti šaltinio vidinę varžą:

$$r = \frac{P_{max}}{I_0^2};\ r = \frac{9\ \mathrm{W}}{(3\ \mathrm{A})^2} = 1\ \Omega.$$

Šaltinio elektrovarą apibūdinsime lygtimi $\varepsilon = 2\ I_0 r$; $\varepsilon = 2 \cdot 3\ \mathrm{A} \cdot 1\ \Omega = 6\ \mathrm{V}$.

Atsakymas. Šaltinio elektrovara lygi 6 V, o jo vidinė varža 1 Ω.

16.7* pavyzdys

Apskaičiuokite, kiek kartų pakis srovės stipris variniame laide, jeigu jo temperatūra padidės nuo 20 °C iki 100 °C esant pastoviai įtampai. Laido šiluminio plėtimosi nepaisoma.

$t_1 = 20$ °C
$t_2 = 100$ °C
$U = \text{const}$

$\frac{I_2}{I_1} - ?$

Sprendimas

Taikome Omo dėsnį grandinės daliai $I = \frac{U}{R}$. Žinome, kad esant pastoviai įtampai, elektros srovė laide yra atvirkščiai proporcinga jo varžai arba savitajai varžai: $\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_{20}}{\rho_t}$ **(1)**.

Vario savitųjų varžų santykiui taikome formulę $\rho_t = \rho_{20}\frac{1 + \alpha_R t}{1 + 20\alpha_R}$ **(2)**. **2** lygtį įrašę į **1**, gauname: $\frac{I_2}{I_1} = \frac{\rho_{20}}{\rho_t} = \frac{1 + 20\alpha_R}{1 + \alpha_R t}$.

$\alpha_R \approx 4 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1} \approx \frac{1}{273}\ \text{K}^{-1}$. Įrašę fizikinių dydžių reikšmes, apskaičiuojame rezultatą:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{1 + 20 \cdot 4 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1}}{1 + 4 \cdot 10^{-3}\ \text{K}^{-1} \cdot 80\ ^\circ\text{C}} \approx 0{,}78.$$

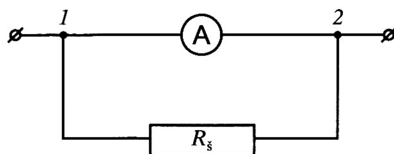
Atsakymas. Laidui sušilus iki 100 °C, juo tekanti elektros srovė sumažės 0,78 karto.

16.8 pavyzdys

Kaip ampermetru, kurio varža R_a ir didžiausias matuojamas srovės stipris I_0, išmatuoti n kartų stipresnę srovę $I = nI_0$?

Sprendimas

Lygiagrečiai su ampermetru jungiamas mažos varžos šuntas $R_š$ (16.4 pav.). Pirmajam mazgui taikome pirmąją Kirchhofo taisyklę: $I = I_0 + I_š$ **(1)**. Įtampą tarp *1* ir *2* taškų galime išreikšti dvejopai: $U_{12} = I_0 R_0 = I_š R_š$ **(2)**. **1** ir **2** lygtis matematiškai pertvarkę, gauname: $R_š = \frac{I_0 R_0}{I - I_0} = \frac{R_0}{\frac{I}{I_0} - 1} = \frac{R_0}{n-1}$.



16.4 pav.

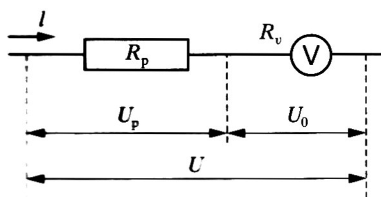
Atsakymas. Norint n kartų pakeisti ampermetro matavimo ribas, reikia lygiagrečiai su juo jungti šuntą, kurio varža $(n - 1)$ kartų mažesnė už ampermetro varžą. Tai vadinama ampermetro šuntavimu.

16.9 pavyzdys

Kaip voltmetru, kurio varža R_v ir maksimali matuojama įtampa U_0, galima išmatuoti n kartų didesnę įtampą $U = nU_0$?

Sprendimas

Nuosekliai su voltmetru jungiama didelės varžos priešvaržė R_p. Per priešvaržę ir voltmetrą tekanti elektros srovė I sukelia įtampos kritimą U_p priešvaržėje ir U_0 voltmetre. Visas įtampos kritimas priešvaržėje ir voltmetre lygus $U = U_p + U_0$ (16.5 pav.).



16.5 pav.

Pastarosios lygties visus narius dalijame iš U_0 ir gauname: $\frac{U}{U_0} = \frac{U_p}{U_0} + 1$ (**1**). Kadangi $\frac{U}{U_0} = n$ ir $\frac{U_p}{U_0} = \frac{IR_p}{IR_v} = \frac{R_p}{R_v}$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1** ir matematiškai pertvarkę, gauname: $R_p = (n-1)R_v$.

Atsakymas. Norint n kartų praplėsti voltmetro matavimo ribas, reikia nuosekliai su voltmetru jungti priešvaržę, kurios varža $(n - 1)$ karto didesnė už voltmetro varžą.

16.1. Technikoje ir buityje dažnai taikomas nesisteminis elektros energijos vienetas kilovatvalandė (kWh). Raskite vienos kilovatvalandės reikšmę SI sistemoje, t. y. atitinkamą išraišką džauliais.

16.2. Vakuuminio diodo soties srovės stipris lygus 12 mA. Kiek elektronų kas sekundę išspinduliuoja katodas?

16.3. Automobilio variklį įjungia starteris, kurio apvija teka 500 A stiprio elektros srovė. Kiek elektronų prateka bet kuriuo laido skerspjūviu per starterio veikimo laiką, lygų 5 s?

16.4. Apskaičiuokite krūvį, pratekantį 1 mm^2 skerspjūvio ploto laidininku per 5 s, jeigu srovės tankis tolygiai didėja nuo 0 A/cm^2 iki 100 A/cm^2.

16.5. Kiek elektronų prateka 4 mm^2 laidininko skerspjūviu per 2 min, jeigu srovės tankis lygus 100 A/cm^2?

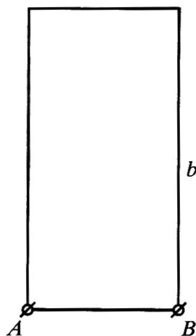
16.6. Kokia yra 2 mm skersmens laido varža, jei jis pagamintas iš aliuminio, kurio masė lygi 10 kg?

16.7. 5 km ilgio varinio laido varža lygi 12 Ω. Kiek reikia vario tokiam laidui pagaminti?

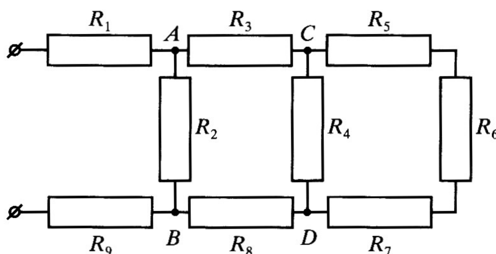
16.8. Prie 6 m ilgio ir 2 mm^2 skerspjūvio ploto laidininko prijungta 5 V įtampa. Apskaičiuokite laidininko savitąją varžą, kai juo teka 1,5 A stiprio elektros srovė.

16.9. Turime dvi rites, kurių viena suvyniota iš varinio laido, o kita – iš aliuminio. Kuris laidas ir kiek kartų yra ilgesnis, jeigu žinoma, kad varžos ir laidų masės yra lygios?

16.10. Apskaičiuokite taisyklingojo stačiakampio kontūro, kurio kraštinės 1 m ir 2 m, varžą tarp taškų A ir B (16.6 pav.). Kontūras pagamintas iš varinės 1 mm^2 skerspjūvio ploto vielos.



16.6 pav.



16.7 pav.

16.11. Apskaičiuokite 16.7 paveiksle pavaizduotos grandinės atstojamąją varžą, jeigu kiekviena iš varžų R_1, R_3, R_5, R_7, R_8 ir R_9 lygi 1 Ω, o R_2, R_4, R_6 – 2 Ω.

16.12. Iki kokios temperatūros įkaito elektromagnetas darbo metu, jeigu žinoma, kad jo apvija pagaminta iš varinio laido, kurio varža esant 20 °C temperatūrai lygi 50,2 Ω, o darbo režimo metu ji padidėjo iki 61,4 Ω?

16.13. Apskaičiuokite vienalaidės telefono linijos ilgį, jeigu, keičiantis temperatūrai nuo 15 °C iki 25 °C, jos varža padidėjo 10 Ω. Nutiestos linijos kabelis pagamintas iš varinio 0,5 mm^2 skerspjūvio ploto laido.

16.14. Voltmetro, skirto matuoti įtampai iki 5 V, vidinė varža lygi 200 Ω. Apskaičiuokite papildomo laidininko, kurį reikia prijungti prie voltmetro, norint juo matuoti 100 V įtampą, varžą. Nubraižykite tokio jungimo schemą.

16.15. Mikroampermetro padalos vertė lygi 10 μA. Prietaiso skalę sudaro 100 padalų, o jo vidinė lygi 100 Ω. Kaip iš šio prietaiso pagaminti ampermetrą, kuriuo būtų galima matuoti srovės stiprį iki 1 A?

16.16. Variniu laidu tekančios elektros srovės didžiausias galimas tankis lygus 1000 A/cm^2. Apskaičiuokite: a) kryptingą laidu judančių elektronų greitį; b) vidutinį kvadratinį elektronų judėjimo greitį, kai temperatūra 300 K.

16.17. Apskaičiuokite trumpojo jungimo šaltinių baterijos, kurios elektrovara 12 V, elektros srovės stiprį, jeigu, prijungus prie jo 2 Ω varžą, grandine tekėjo 5 A srovė.

16.18. Šaltinio elektrovara 2 V, varža 0,4 Ω. Kokio stiprio srovė teka grandine, kai jos išorinė varža R lygi: a) 1,6 Ω; b) 0,4 Ω; c) 0,1 Ω; d) 0 Ω?

16.19. Sujungus 1,02 V elektrovaros šaltinio gnybtus 10 Ω varžos rezistoriumi, grandine teka 0,1 A stiprio srovė. Apskaičiuokite šaltinio varžą ir trumpojo jungimo elektros srovės stiprį.

16.20. Prie šaltinio, kurio elektrovara 2 V, o vidinė varža 1 Ω, prijungiamas 4 Ω varžos rezistorius. Apskaičiuokite: a) grandine tekančios srovės stiprį; b) rezistoriaus gnybtų įtampą; c) įtampą šaltinio viduje; d) šaltinio gnybtų įtampą.

16.21. Du srovės šaltiniai, kurių elektrovaros 1,6 V ir 2 V, o vidinės varžos atitinkamai lygios 0,3 Ω ir 0,9 Ω, sujungdami nuosekliai ir prijungiami prie 6 Ω išorinės varžos. Apskaičiuokite įtampą kiekvieno šaltinio vidinėje varžoje.

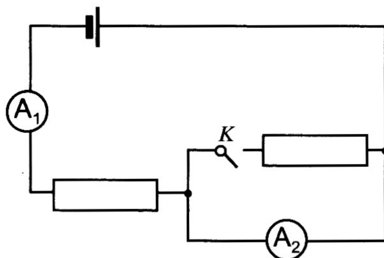
16.22. Trimis nuosekliai sujungtais galvaniniais elementais, kurių elektrovaros 2,2 V, 1,1 V ir 0,9 V, o vidinės varžos atitinkamai lygios 0,2 Ω, 0,4 Ω ir 0,5 Ω, teka 1 A stiprio elektros srovė. Apskaičiuokite išorinės varžos dydį.

16.23. Kiek reikia nuosekliai sujungtų elektros srovės šaltinių, kurių kiekvieno elektrovara 1,2 V ir vidinė varža 0,1 Ω, jeigu žinoma, kad, šią bateriją prijungus prie dviejų lygiagrečiai sujungtų 6 Ω ir 9 Ω varžos laidininkų, grandine tekės 3 A stiprio elektros srovė?

16.24. Elektros srovės šaltinio gnybtus sujungus R varžos laidininku, tarp šaltinio gnybtų susidaro 5 V potencialų skirtumas. Išorinę varžą padidinus 6 kartus, potencialų skirtumas šaltinio gnybtuose padidėja dvigubai. Kokia šaltinio elektrovara?

16.25.* Akumuliatoriaus bateriją sudaro penkios lygiagrečios sekcijos, kurių kiekvienoje yra dešimt nuosekliai sujungtų 1,1 V elektrovaros ir 0,1 Ω vidinės varžos šaltinių. Apskaičiuokite kiekvienu šaltiniu tekančios srovės stiprį bei įtampos kritimą kiekvieno šaltinio vidinėje varžoje, jeigu šis akumuliatorius yra prijungtas prie šliaužiklinio reostato, kuris pagamintas iš 0,5 mm^2 skerspjūvio ploto ir 50 m ilgio nikelininės vielos.

16.26. Kaip pasikeis ampermetrų A_1 ir A_2 parodymas (16.8 pav.), kai jungiklį K išjungsime?



16.8 pav.

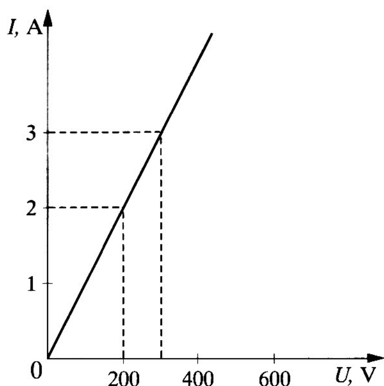
16.27. Grandinę sudaro trys rezistoriai, kurio kiekvieno varža lygi r. Nubraižykite visas galimas tokios grandinės jungimo schemas. Apskaičiuokite kiekvienos grandinės pilnutinę varžą R.

16.28. Viela buvo perkirpta pusiau ir abi jos dalys susuktos į vieną laidą. Kaip pasikeitė vielos varža?

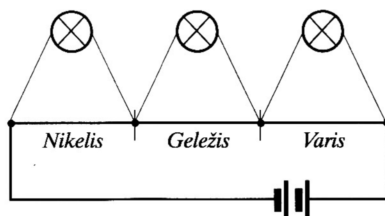
16.29. Aliumininio laido skerspjūvio plotas 10 mm^2. Kiek metrų laido reikia atkirpti, kad jo varža būtų 32 mΩ?

16.30. Ant kišeninio žibintuvėlio lemputės užrašyti šie duomenys: 3,5 V, 0,28 A. Apskaičiuokite lemputės varžą R.

16.31. 16.9 paveiksle pavaizduotas grafikas, iš kurio matyti, kaip grandinės dalies srovės stipris priklauso nuo įtampos. Remdamiesi šiuo grafiku, nustatykite, kokia turi būti laidininko varža *R* ir įtampa *U*, kad juo tekėtų 3,5 A stiprio elektros srovė.



16.9 pav.



16.10 pav.

16.32. Vienodo skersmens ir vienodo ilgio varinės, geležinės ir nikelininės vielos laidai sujungti nuosekliai. Prie kiekvieno laido lygiagrečiai prijungtos vienodos lemputės (16.10 pav.). Ar vienodai jos šviečia? Kodėl?

16.33. Kiek reikia turėti 15 W galios lempučių, apskaičiuotų 12 V įtampai, norint pagaminti girliandą Kalėdų eglutei?

16.34. Iš pradžių skaitiklis rodė 401 kWh, o išjungus prietaisą – 421 kWh. Apskaičiuokite suvartotos elektros energijos kainą.

16.35. Laisvųjų elektronų kryptingo judėjimo greitis lygus 0,282 mm/s, jų koncentracija $7{,}9 \cdot 10^{27}$ m^{-3}. Laidininko skerspjūvio plotas 50 mm^2. Apskaičiuokite laidininku tekančios elektros srovės stiprį ir srovės tankį.

16.36.* Kokio stiprio srovę sukuria elektronas, skriedamas 50 pm spindulio vandenilio atomo orbita?

16.37.* Šaltiniu teka 0,2 A stiprio elektros srovė. Jo pašalinės jėgos per 1 min atlieka 24 J darbą. Kokia šaltinio elektrovara?

16.38.* Srovės šaltinis, kurio elektrovara 2,2 V, o vidinė varža 0,4 Ω, sujungtas su 20 Ω varžos lempa. Jos gnybtų įtampa 2 V. Koks yra įtampos kritimas jungiamuosiuose laiduose?

16.39.* Nubraižykite grafiką, kuris vaizduotų, kaip šaltinio gnybtų įtampa priklauso nuo: a) srovės stiprio; b) išorinės varžos; c) šaltinio varžos; d) elektrovaros.

16.40.* Akumuliatorių baterijos elektrovara lygi 30 V, vidinė varža 1 Ω. Prijungus prie baterijos lempą, jos gnybtų įtampa buvo 28 V. Apskaičiuokite: a) srovės stiprį; b) lempos varžą.

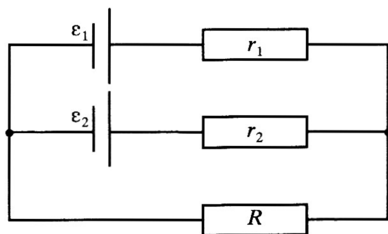
16.41.* Kai grandinės išorinė varža 100 Ω, tai srovės stipris lygus 0,3 A, o kai išorinė varža 151 Ω, tai srovės stipris – 0,2 A. Apskaičiuokite šaltinio: a) vidinę varžą; b) elektrovarą.

16.42.* Kai teka 0,4 A stiprio srovė, prie šaltinio gnybtų prijungtas voltmetras rodo 2 V, o kai teka 0,8 A stiprio srovė, voltmetras rodo 1,8 V. Apskaičiuokite šaltinio: a) vidinę varžą; b) elektrovarą; c) srovės stiprį trumpojo jungimo metu.

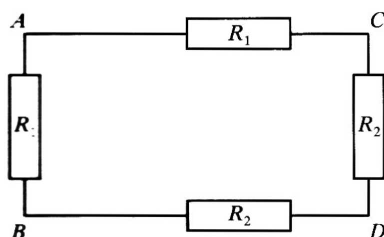
16.43.* Prie elementų baterijos prijungto rezistoriaus įtampa 5 V. Padidinus rezistoriaus varžą 6 kartus, jo įtampa padidėjo 2 kartus. Kokia yra baterijos elektrovara?

16.44.* Šaltinis, kurio elektrovara lygi 2,1 V ir vidinė varža 0,2 Ω, sujungtas su reostatu. Reostato laido skerspjūvio plotas 0,75 mm^2, o savitoji varža 1,3 μΩm. Kam lygūs elektros srovės stipris ir reostato varža, kai šaltinio gnybtų įtampa 2 V? Kokio ilgio yra reostato laidas?

16.45.* Apskaičiuokite apkrova tekančios elektros srovės stiprį, kai $\varepsilon_1 = 11$ V; $\varepsilon_2 = 6$ V; $r_1 = 0{,}5$ Ω; $r_2 = 1$ Ω ir $R = 5$ Ω (6.11 pav.).



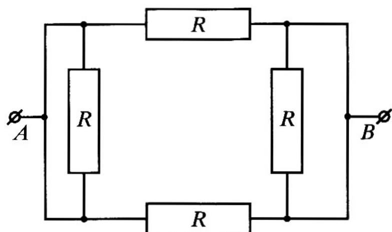
16.11 pav.



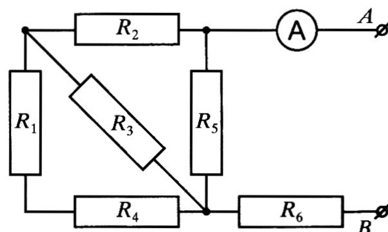
16.12 pav.

16.46.* Grandinė sudaryta iš rezistorių R_1 ir R_2 (16.12 pav.). Žinoma, kad $R_2 = 2R_1$. Srovės šaltinis pirma prijungiamas prie taškų A ir C, po to – prie taškų B ir D. Palyginkite abiejų grandinių pilnutinę varžą.

16.47.* Keturis vienodus rezistorius, kurių kiekvieno varža lygi R, mokinys sujungė taip, kaip parodyta 16.13 paveiksle. Kokia dabar yra grandinės dalies tarp taškų A ir B pilnutinė varža? Jungiamųjų laidų varžos nepaisykite.



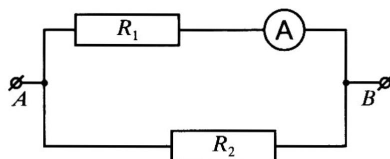
16.13 pav.



16.14 pav.

16.48.* Įtampa tarp taškų A ir B (16.14 pav.) lygi 220 V; $R_1 = 15$ Ω, $R_2 = 2$ Ω, $R_3 = R_4 = 5$ Ω, $R_5 = 3$ Ω, $R_6 = 38$ Ω. Ką rodo ampermetras?

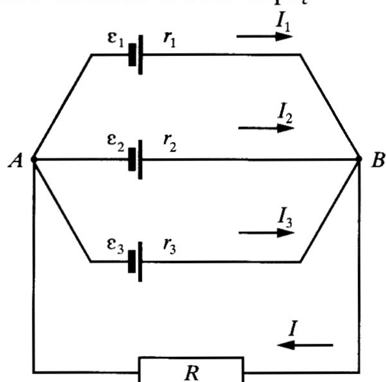
16.49.* Du vienodi rezistoriai įjungti į grandinę taip, kaip parodyta 16.15 paveiksle. Kuriame jų per tą patį laiką išsiskiria didesnis šilumos kiekis?



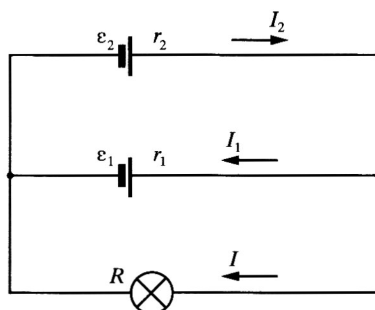
16.15 pav.

16.50.* Dvi elektrinės viryklės įjungtos į grandinę nuosekliai. Pirmos viryklės varža 60 Ω, antros – 24 Ω. Kuri iš jų naudoja didesnės galios srovę ir kiek kartų didesnę? Kurioje iš jų per tą patį laiką išsiskiria didesnė šiluma?

16.51.* Trys elektros srovės šaltiniai, kurių elektrovaros 1,2 V; 1,1 V; 1,3 V ir vidinės varžos atitinkamai lygios 0,1 Ω; 0,2 Ω ir 0,3 Ω sujungti vienavardžiais poliais ir prijungti prie 2 Ω išorinės varžos (16.16 pav.). Apskaičiuokite kiekvienu šaltiniu tekančios elektros srovės stiprį.



16.16 pav.



16.17 pav.

16.52.* Akumuliatorių baterija, kurios elektrovara 12 V ir vidinė varža 0,2 Ω, pakraunama šaltiniu, kurio elektrovara 13 V ir vidinė varža 0,1 Ω (16.17 pav.). Lygiagrečiai su baterija įjungiama 4,1 Ω varžos lempa. Kokio stiprio srovė teka lempa?

16.53. 127 V įtampos radijo imtuvas naudoja 50 W galią. Kokios varžos rezistorių reikia prijungti prie radijo imtuvo, kad juo būtų galima klausytis muzikos įjungiant į 220 V įtampos tinklą?

16.54. Elektrinis skustuvas naudoja 15 W galią ir yra pritaikytas 110 V įtampos tinklui. Kai skustuvą jungia į 220 V įtampos tinklą, tai nuosekliai jam prijungia 110 V įtampos kaitinamąją lempą. Kokia turi būti lempos galia, kad elektrinis skustuvas nepriekaištingai veiktų?

16.55. Apskaičiuokite srovės stiprį tramvajaus variklio vijose, jeigu jo, traukos jėga, esant 550 V tinklo įtampai, lygi 5 kN. Tramvajus juda 30 km/h greičiu, o jo variklio naudingumo koeficientas lygus 80 %.

16.56.* Koks yra elektros šaltinio naudingumo koeficientas, jeigu žinoma, kad, išorinę varžą padidinus du kartus, potencialų skirtumas šaltinio gnybtuose padidėja 10 %?

16.57.* 200 MW galios elektros srovę reikia tiekti elektros perdavimo linija, kurioje srovės nuostoliai neturi būti didesni negu 10 %. Kokio skerspjūvio ploto turėtų būti perdavimo linijos varinis laidas esant 400 kV įtampai?

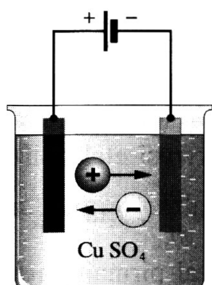
16.58.* Kiek reikia vario norint nutiesti 10 km elektros perdavimo liniją, jeigu elektros pastotės įtampa 440 V, o vartotojui būtina 50 kW elektros srovės galia? Elektros perdavimo linijos leistini nuostoliai 10 %.

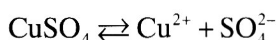
16.59. Koks yra elektrinio virdulio naudingumo koeficientas, jeigu 2 litrai 20 °C temperatūros vandens užverda po 20 min? Elektros srovės stipris 3 A, tinklo įtampa 220 V.

16.60. Elektrinės plytelės nichrominė 0,15 mm^2 skerspjūvio ploto spiralė yra 10 m ilgio. Per kiek laiko šia plytele (naudingumo koeficientas 80 %) užvirs 2 litrai 15 °C temperatūros vandens, jeigu ją įjungsime į 220 V įtampos tinklą?

17. Elektros srovė įvairiose terpėse

Elektros srove elektrolituose vadinamas kryptingas teigiamųjų ir neigiamųjų jonų judėjimas.
Disociacija – tai procesas, kurio metu ištirpusios medžiagos molekulės suskyla į jonus.
Rekombinacija – tai procesas, kurio metu priešingų ženklų jonai susijungia į neutralias molekules.





I Faradėjaus dėsnis: $m = kIt$; $m = kq$.

Ant elektrodo išsiskyrusi medžiagos masė, tekant elektros srovei elektrolito tirpalu, yra tiesiogiai proporcinga pratekėjusiam krūviui.
k – elektrocheminis ekvivalentas, skaitiniu didumu lygus ant elektrodo nusėdusios medžiagos masei, jonams pernešant krūvį, lygų 1C.

II Faradėjaus dėsnis: $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n}$; $m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{n} q$.

F – Faradėjaus konstanta, skaitiniu didumu lygi krūviui, kurį reikia praleisti elektrolito tirpalu, norint išskirti ant elektrodo medžiagos masę, lygią jo cheminiam ekvivalentui; F = 96 500 C/mol; A – atominė masė; n – valentingumas.

Elektrolizė – į elektrolito sudėtį įeinančių medžiagų nusėdimas ant elektrodo

- Reljefinio paviršiaus kopijų gavimas
- Metalo paviršiaus padengimas plonu kito metalo sluoksniu
- Metalo gavimas iš rūdos elektrolitiniu būdu

17.1* pavyzdys

Grotuvų plokštelių matricų gamybai buvo taikoma galvanoplastika. Pirmiausia vaškinė forma padengiama vario sluoksniu, 30 min leidžiant 0,80 A/dm² tankio elektros srovę. Srovės naudingumo koeficientas 90 %. Toliau danga formuojama, leidžiant 5 A/dm² tankio srovei tekėti 20 h. Srovės naudingumo koeficientas 95 %. Kiek vario vidutiniškai suvartojama vienai plokštelės matricai, kurios paviršiaus plotas lygus 3,0 dm²?

$j_1 = 0{,}80\dfrac{\text{A}}{\text{dm}^2} = 0{,}8 \cdot 10^2 \dfrac{\text{A}}{\text{m}^2} = 80\dfrac{\text{A}}{\text{m}^2}$

$t_1 = 30$ min $= 1800$ s

$\eta_1 = 90\ \% = 0{,}90$

$j_2 = 5\dfrac{\text{A}}{\text{dm}^2} = 5 \cdot 10^2 \dfrac{\text{A}}{\text{m}^2} = 500\dfrac{\text{A}}{\text{m}^2}$

$t_2 = 20$ h $= 72 \cdot 10^3$ s

$\eta_2 = 95\ \% = 0{,}95$

$k = 0{,}33 \cdot 10^{-6}$ kg/C

$S = 3$ dm² $= 3 \cdot 10^{-2}$ m²

m – ?

Sprendimas

Srovės naudingumo koeficientas rodo, kurią dalį apskaičiuotos pagal srovės stiprį medžiagos masės sudaro realiai išsiskyrusi elektrolizės metu masė:

$\eta = \dfrac{m}{m_{sk}}$; čia m_{sk} – masė, apskaičiuota pagal pirmąjį Faradėjaus dėsnį.

Pirminio dengimo metu išsiskyrusią masę randame iš lygybės $\eta = \dfrac{m_1}{m_{1sk}}$; čia $m_{1sk} = kI_1 t_1$.

Kadangi $I = jS$, tai $m_1 = \eta_1 k j_1 S t_1$.

Analogiškai išreiškiame m_2: $m_2 = \eta_2 m_{2sk}$; $m_2 = \eta_2 k j_2 S t_2$.

Visa išsiskyrusio vario masė $m = m_1 + m_2$; $m = kS(\eta_1 j_1 t_1 + \eta_2 j_2 t_2)$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame:

$$m = 0{,}33 \cdot 10^{-6}\frac{\text{kg}}{\text{C}} \cdot 0{,}03\,\text{m}^2\left(0{,}9 \cdot 80\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot 1800\,\text{s} + 0{,}95 \cdot 500\frac{\text{A}}{\text{m}^2} \cdot 72 \cdot 10^3\text{s}\right) \approx 0{,}34\ \text{kg}.$$

Atsakymas. Vienai matricai pagaminti apytiksliai sunaudojama 0,34 kg vario.

17.2* pavyzdys

Kokios mažiausios talpos turi būti akumuliatorius, kad, atliekant parūgštinto vandens elektrolizę, išsiskirtų 5 l deguonies esant 27 °C temperatūrai ir normaliam atmosferos slėgiui?

$V = 5$ l $= 5 \cdot 10^{-3}$ m³	$\rho_0 = 1{,}43$ kg/m³
$t = 27$ °C; $T = 300$ K	$k = 8{,}29 \cdot 10^{-8}$ kg/C
	$p_0 = 1 \cdot 10^5$ Pa
	$T_0 = 273$ K

q – ?

Sprendimas

Elektrolizei vykti būtiną elektros kiekį randame iš formulės

$m = kq$; $q = \dfrac{m}{k}$ **(1)**.

Išsiskyrusio deguonies masę randame iš formulės: $m = \rho_0 V_0$ **(2)**, o V_0 apibūdinti

taikome Gei-Liusako dėsnį $V_0 = \dfrac{VT_0}{T}$ (3). **2** ir **3** lygtis įrašome į **1** išraišką ir gaunome, kad $q = \dfrac{VT_0\rho_0}{kT}$.

Akumuliatoriaus talpa technikoje apibūdinama ne kulonais (C), o ampervalandėmis (Ah). Todėl galutinėje formulėje q išreiškę ampervalandėmis, gauname:

$$q = \frac{VT_0\rho_0}{T \cdot k \cdot 3600}\ \text{Ah.}$$

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame akumuliatoriaus talpą:

$$q = \frac{5 \cdot 10^{-3}\,\text{m}^3 \cdot 273\,\text{K} \cdot 1{,}43\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{300\,\text{K} \cdot 8{,}29 \cdot 10^{-8}\,\frac{\text{kg}}{\text{C}} \cdot 3600}\ \text{Ah} \approx 22\ \text{Ah.}$$

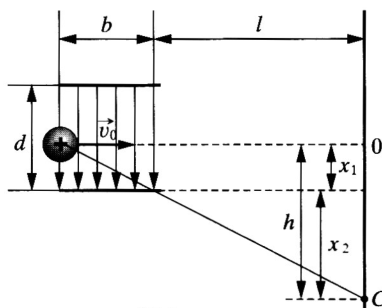
Atsakymas. Akumuliatoriaus talpa turi būti ne mažesnė kaip 22 Ah.

17.3* pavyzdys

Protonai, skriejantys 9,5 · 10^{-4} m/s greičiu, įlekia į plokščiąjį kondensatorių taip, kad atstumas iki abiejų elektrodų būna vienodas, o greičio kryptis lygiagreti su elektrodais. Esant tarp kondensatoriaus elektrodų 14 V įtampai, protonai nukrypsta ir patenka į ekrano tašką C. Raskite protonų nuokrypį OC, žinodami, kad atstumas tarp kondensatoriaus elektrodų lygus 2,4 cm, elektrodų ilgis 6,2 cm, o atstumas nuo kondensatoriaus iki ekrano 45 cm. Protonai juda vakuume. Sunkio jėgos poveikio nepaisykite.

$U = 14$ V
$d = 2{,}4 \cdot 10^{-2}$ m
$l = 0{,}45$ m
$b = 6{,}2 \cdot 10^{-2}$ m
$m_p = 1{,}672 \cdot 10^{-27}$ kg
$v_0 = 9{,}5 \cdot 10^{-4}$ m/s
$q = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

h – ?



17.1 pav.

Sprendimas

Nuokrypį $h = OC$ rasime, sudėję nuokrypius x_1 ir x_2; čia x_1 – nuokrypis kondensatoriaus viduje, kai protoną veikia elektrinė jėga $\vec{F} = q\vec{E}$; o x_2 – nuokrypis, susidaręs protonui judant iš inercijos už lauko ribų (į lauko nevienalytiškumą prie kondensatoriaus krašto nekreipiame dėmesio).

Jėga $\vec{F}$ veikia statmenai greičio vektoriui $\vec{v}_0$, todėl greičio vektoriaus horizontali dedamoji lieka pastovi ir lygi $\vec{v}_0$ (17.1 pav.).

Vadinasi, protono judėjimo kondensatoriaus viduje laiką galima rasti iš formulės $t_1 = \frac{b}{v_0}$. Tolygiai greitėdami protonai elektriniame lauke vertikalia kryptimi juda laikotarpį t_1, todėl $x_1 = \frac{1}{2}at_1^2$. Pagreitį a randame iš antrojo Niutono dėsnio $a = \frac{F}{m_p} = \frac{qE}{m_p}$.

Elektrinio lauko stiprį apskaičiuojame iš formulės $E = \frac{U}{d}$.

Tuo metu, kai protonas išlėks iš kondensatoriaus, jo greičio vertikali dedamoji bus $v_1 = at_1$, ir toliau ji nesikeis. Todėl $x_2 = v_1 t_2$; čia t_2 – protono judėjimo nuo kondensatoriaus iki ekrano laikas, randamas taip: $t_2 = \frac{l}{v_0}$.

Protono nuokrypis kondensatoriaus viduje apibūdinamas lygtimi

$$x_1 = \frac{at_1^2}{2} = \frac{Fb^2}{2m_p v_0^2} = \frac{Uqb^2}{2dm_p v_0^2};$$

$$x_1 = \frac{14\ \text{V} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot (6{,}2 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2}{2 \cdot 2{,}4 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \cdot 1{,}672 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \left(9{,}5 \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 0{,}0119\ \text{m}.$$

Protono nuokrypį, judant jam už kondensatoriaus ribų, randame taip:

$$x_2 = v_1 t_2 = at_1 \frac{l}{v_0} = \frac{Fbl}{m_p v_0 v_0} = \frac{Eqbl}{m_p v_0^2} = \frac{Uqbl}{dm_p v_0^2}.$$

$$x_2 = \frac{14\ \text{V} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \cdot 6{,}2 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \cdot 0{,}45\ \text{m}}{2{,}4 \cdot 10^{-2}\ \text{m} \cdot 1{,}672 \cdot 10^{-27}\ \text{kg} \left(9{,}5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 0{,}172\ \text{m}.$$

Dabar apskaičiuojame h:

$h = x_1 + x_2$; $h = 0{,}0119\ \text{m} + 0{,}172\ \text{m} = 0{,}1839\ \text{m} \approx 18{,}4\ \text{cm}$.

Atsakymas. Veikiamas kondensatoriaus elektrinio lauko, protonas vertikalia kryptimi nukryps 18,4 cm.

Elektros srovė dujose ir vakuume

17.1. Kuo skiriasi jonų susidarymas elektrolituose ir dujose? Atsakymą išsamiai paaiškinkite.

17.2. Kodėl jonizatoriaus pastoviai veikiamų jonų kondensacija didėja tik iki tam tikros ribos, o toliau nekinta? Atsakymą pagrįskite.

17.3. Kuo savaiminis dujų laidumas skiriasi nuo nesavaiminio?

17.4. Reklamos užrašo dujų išlydžio vamzdeliai esant reikiamai įtampai ir praėjus nustatytam laikui neįsižiebė. Kodėl taip atsitiko?

17.5. Kodėl poliarinių pašvaisčių nebūna pusiaujo šalyse, o vidurinėse platumose jos matomos labai retai? Atsakymą pagrįskite.

17.6. Elektronai lempoje skrieja nuo katodo prie anodo. Kokie energijos virsmai vyksta didėjant kinetinei elektronų energijai? Kokios rūšies energija ji virsta, kai elektronai pasiekia anodą?

17.7. Kokia srovė naudojama elektroninių lempų katodui kaitinti? Kodėl?

17.8. Dėl kokių savybių elektros srovės tekėjimas vakuume yra taikomas technikoje?

17.9. Kodėl švytintį televizoriaus ekrano vaizdą žmogus suvokia kaip ištisinį?

17.10. Kaip avometru patikrinti, ar nenutrūkęs radijo lempos kaitinimo siūlelis, ar nesusijungę elektrodai?

17.11. Veikiant jonizatoriui, per 1 s susidaro $2 \cdot 10^6$ jonų porų. Apskaičiuokite nesavaiminio išlydžio srovės stiprį.

17.12. Nesavaiminio išlydžio soties srovės stipris $4.8 \cdot 10^{-12}$ A. Kiek jonų porų sukuria jonizatorius per vieną sekundę?

17.13. Vykstant nesavaiminiam dujų išlydžiui, jonizatorius viename kubiniame centimetre kas sekundę sudaro 10^9 jonų porų. Kiekvieno iš dviejų lygiagrečių plokščiųjų elektrodų plotas lygus 100 cm^2, o atstumas tarp jų – 5 cm. Apskaičiuokite soties srovės stiprį.

17.14. Dėl kosminių spindulių poveikio dujinio išlydžio vamzdelio 1 cm^3 tūryje kas sekundę susidaro 10 porų vienvalenčių jonų. Atstumas tarp vamzdelio elektrodų lygus 10 cm. Koks soties srovės tankis nusistovi vamzdelyje?

17.15. Plokščiasis kondensatorius prijungtas prie 6 kV įtampos šaltinio. Kokiam atstumui tarp plokščių esant, kondensatorius bus pramušamas? Oro smūgio jonizacija prasideda, kai elektrinio lauko stipris lygus 3 MV/m.

17.16. Plokščiojo kondensatoriaus gnybtų įtampa 400 V, o atstumas tarp plokščių 1,8 cm. Kokio didumo jėga veikia elektronus plokščiajame kondensatoriuje?

17.17. Kokio stiprio elektriniame lauke elektronas, laisvai nuskriejęs 0,5 μm atstumą, jonizuoja dujų atomą, kurio jonizacijos energija lygi $2{,}4 \cdot 10^{-18}$ J?

17.18. Elektrono išlaisvinimo iš metalo darbas lygus 5 eV. Kokia turi būti elektrono kinetinė energija, kad jis išlėktų iš metalo 10^6 m/s greičiu?

17.19. Lempinio diodo didžiausias anodinės srovės stipris lygus 50 mA. Kiek elektronų išlekia iš katodo kiekvieną sekundę?

17.20. Iš įkaitusio iki tam tikros temperatūros elektroninės lempos siūlo per 1 s išlekia $0{,}25 \cdot 10^{17}$ elektronų. Kokio stiprio srovė teka lempa?

17.21. Elektronai diode pagreitinami tiek, kad įgyja 100 eV energijos. Koks yra mažiausias elektronų greitis prie lempos anodo?

17.22. Apskaičiuokite iš prožektoriaus išlekiančių elektronų greitį, kai anodo ir katodo potencialų skirtumas lygus: a) 500 V; b) 5 kV.

17.23. Televizoriaus elektroninis vamzdis veikia esant 30 kV įtampai. Nustatykite elektronų kinetinę energiją, kurią jie turi prie vamzdžio ekrano. Pradinis elektronų greitis lygus nuliui.

17.24.* Katodinių spindulių vamzdyje įtaisytas plokščiasis kondensatorius, kurio plokštelių ilgis 4,5 cm, o atstumas tarp jų 1,8 cm. Kokia yra įtampa tarp kondensatoriaus plokštelių, jeigu katodinių spindulių pluoštas, sklindantis lygiagrečiai su jomis, nukrypsta 1,2 mm? Katodinių spindulių elektronų greitį laikykite lygiu 50 000 km/s.

17.25.* Pro vakuume esantį kondensatorių lygiagrečiai su jo plokštelėmis skrieja elektronai 85 000 km/h greičiu. Plokštelių ilgis 6,5 cm. Prijungus prie kondensatoriaus įtampą, elektronai nukrypsta vienos plokštelės link 1,8 mm. Apskaičiuokite juos veikiančio elektrinio lauko stiprį.

17.26.* Skriejantis vakuumu protonų pluoštelis įlekia į 5,5 cm ilgio plokščiąjį kondensatorių statmenai lauko jėgų linijoms. Kai lauko stipris kondensatoriaus viduje 30 kV/m, lekiantys protonai nukrypsta 1,5 mm elektrinio lauko kryptimi. Apskaičiuokite įlekiančių į kondensatorių protonų kinetinę energiją. Gravitacinio lauko poveikio nepaisykite.

Elektros srovė elektrolituose

17.27. Nuo ko priklauso elektrolitų elektroninis laidumas?

17.28. Dėl trumpojo jungimo užsidegė elektros laidai. Kodėl jų negalima gesinti vandeniu arba gesintuvu, kol deganti dalis neišjungta iš tinklo?

17.29. Ar elektrolituose yra laisvųjų elektronų? Kodėl?

17.30. Kodėl koncentruota sieros rūgštis laikoma geležiniuose induose, o skiesta – stikliniuose?

17.31. Vykstant elektrolizei galvaninėse voniose kartais pakeičiama elektros srovės kryptis. Kodėl taip daroma?

17.32. Per kiek laiko galima suskaidyti 14,6 g druskos rūgšties, leidžiant ja 0,6 A stiprio elektros srovę?

17.33. Per 25 min ant elektrolizės vonios katodo nusėdo 250 mg sidabro. Ampermetras, įjungtas į tos vonios grandinę, rodė 0,2 A. Ar tikslus buvo jo rodmuo?

17.34. Norint cinku padengti metalinius dirbinius, į elektrolizės vonią įmerkiamas cinko elektrodas, kurio masė 0,01 kg. Koks krūvis turi pratekėti vonia, kad būtų sunaudotas visas cinko elektrodas? Cinko elektrocheminis ekvivalentas $3{,}4 \cdot 10^{-7}$kg/C.

17.35. Nustatykite, kokio storio vario sluoksnis susidaro elektrolizės metu iš vario sulfato per 5 h, kai elektros srovės tankis lygus 80 A/m^2.

17.36. Apskaičiuokite sieros rūgšties tirpalo varžą, jeigu, tekant elektros srovei, per 2 h išsiskyrė 0,72 g vandenilio. Elektrolito šildymui sunaudota galia lygi 100 W.

17.37. Aliuminiui gauti elektrolizės būdu leidžiama tekėti 0,4 A/cm^2 tankio elektros srovė, kai įtampa 4,5 V. Kokia elektros srovės galia sunaudota, jeigu per parą gauta 200 kg aliuminio? Koks turi būti naudojamų elektrodų plotas?

17.38. Rafinuojant varį, elektrolitinėse voniose kas tris paras keičiami anodai. Apskaičiuokite elektros srovės tankį, jeigu ant kiekvieno katodo nusėda 25 kg gryno vario. Katodo matmenys 100×90 cm.

17.39. Apskaičiuokite geležies, kurios atominė masė 55,85, elektrocheminį ekvivalentą, jeigu sidabro elektrocheminis ekvivalentas lygus $1{,}118 \cdot 10^{-6}$ kg/C. Sidabro valentingumas 1, atominė masė 107,88.

17.40. Kiek nikelio, kurio atominė masė 58,71 ir valentingumas lygus 2, išsiskiria elektrolizės metu per 1 valandą tekant 10 A stiprio elektros srovei?

17.41. Sidabruojant šaukštus, sidabro druskos tirpalu 5 valandas leidžiama tekėti 2 A stiprio elektros srovei. Katodo vaidmenį atlieka 10 šaukštų, kurių kiekvieno paviršiaus plotas lygus 50 cm^2. Apskaičiuokite, kokiu sidabro sluoksnio storiu pasidengė kiekvienas šaukštas.

17.42. Kiek geležies ir chloro išsiskiria ant elektrolitinės vonios elektrodų per 2 valandas tekant 10 A stiprio elektros srovei geležies chlorido $FeCl_3$ tirpalu?

17.43. Nustatykite nikelio valentingumą, jeigu nikeliuojant 2 valandas lygiagrečiai sujungtose 100 vonių, kurių kiekvienos varža 3 Ω, išsiskyrė 430 g nikelio. Elektrolizė vyko esant 6 V įtampai.

17.44. Sidabruojant gaminį, elektrolizės vonia buvo leidžiama 0,7 A/dm^2 tankio srovė. Per kiek laiko ant gaminio nusėdo 0.05 mm storio sidabro sluoksnis?

17.45. Vykstant elektrolizei vario sulfato tirpale, per 1 h išsiskyrė 0,5 kg vario. Įmerktų į elektrolitą dalių plotas 7.5 m^2. Apskaičiuokite elektros srovės tankį.

17.46. Plokštelės nikeliuojamos tekant 0,4 A/dm^2 tankio elektros srovei. Kokiu greičiu didėja nikelio sluoksnio storis? Nikelio valentingumas lygus 2.

17.47.* Vykstant vario sulfato tirpalo elektrolizei, ant katodo, kurio darbinio paviršiaus plotas 0,8 m^2, per 1 h nusėda 0,4 kg vario. Apskaičiuokite elektros srovės tankį. Srovės išeiga (elektrolizės metu faktiškai išsiskyrusio medžiagos kiekio ir kiekio, kuris turi išsiskirti pagal Faradėjaus dėsnį, santykis) 90 %.

17.48.* Per kiek laiko rafinuojant varį bus sunaudotas 600 mm × 120 mm × 10 mm dydžio varinis anodas, jeigu vonia tekės 20 A stiprio elektros srovė? Srovės išeiga 80 %.

Elektros srovė puslaidininkiuose

17.49. Esant 20 °C temperatūrai magnio ir telūro savitoji varža atitinkamai lygi $0{,}04 \cdot 10^{-6}$ Ωm ir $5 \cdot 10^{-3}$ Ωm, o esant 500 °C temperatūrai tų pačių medžiagų savitoji varža – $0{,}13 \cdot 10^{-6}$ Ωm ir $2{,}5 \cdot 10^{-5}$ Ωm. Kuri iš jų yra puslaidininkis? Kodėl?

17.50. Kokie krūvininkai ir kiek jų egzistuoja grynajame puslaidininkyje?

17.51. Kokiu būdu pasiekiama, kad puslaidininkyje vyrautų: a) skylinis laidumas; b) elektroninis laidumas?

17.52. Keturvalenčiame germanyje yra šių priemaišų: a) trivalenčio indžio; b) penkiavalenčio arseno. Kas sudarys pagrindinę srovę germanyje? Kodėl?

17.53. Į germanį įmaišyta: a) fosforo; b) galio. Koks yra germanio laidumas? Kodėl?

17.54. Kurį elementą – fosforą, galį, arseną, indį ar stibį – reikia naudoti kaip priemaišą, norint gauti elektroninio laidumo puslaidininkį? Atsakymą pagrįskite.

17.55. Kodėl puslaidininkių gamybai reikia ypatingai grynų medžiagų?

17.56.* Fotorezistorius, kurio varža tamsoje lygi 25 kΩ, buvo nuosekliai sujungtas su 5 kΩ varžos rezistoriumi. Apšvietus fotorezistorių, elektros srovės stipris grandinėje (kai įtampa ta pati) padidėjo 4 kartus. Kiek kartų sumažėjo fotorezistoriaus varža?

18. Magnetinis laukas

Magnetinis laukas – tai toks laukas, kurį sukuria laidininkais tekanti elektros srovė.
Magnetinio lauko savybės:

- jis materialus – egzistuoja nepriklausomai nuo mūsų norų ir žinių apie jį;
- atsiranda kartu su srove (judančiais krūvininkais);
- pastebimas pagal poveikį elektros srovei (judantiems krūvininkams).

Magnetinės indukcijos vektorius $\vec{B}$

$B=\frac{M_{max}}{IS}$; čia M – jėgos (sukamasis) momentas, I – elektros srovės stipris, S – rėmelio plotas;

$\mu=\frac{\vec{B}}{\vec{B}_0}$; μ – terpės magnetinė skvarba;

$\vec{B}$ – magnetinės indukcijos vektorius medžiaginėje terpėje;

$\vec{B}_0$ – magnetinės indukcijos vektorius vakuume.

Magnetinės indukcijos linijomis vadinamos kreivės, kurių liestinė bet kuriame lauko taške sutampa su magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ kryptimi.

$B = \mu\mu_0 H$; čia H – magnetinio lauko stipris;

μ_0 – vakuumo magnetinė skvarba; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}$.

Ampero jėga

$F_A = |I|Bl\sin\alpha$

Kairioji ranka laikoma taip, kad statmena laidininkui magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ dedamoji yra nukreipta į delną, o keturi ištiesti pirštai rodo srovės kryptį, tuomet 90° kampu ištiestas nykštys parodo laidininko atkarpą veikiančios jėgos kryptį.

Lorenco jėga

$F_L = qvB\sin\alpha$

$\vec{F} = \vec{F}_{el} + \vec{F}_L$

$\vec{F}_{el} = q\vec{E}$

Diamagnetikų $\mu < 1$,
paramagnetikų $\mu > 1$,
feromagnetikų $\mu >> 1$.

Magnetinė indukcija *B*			Lygiagrečių elektros srovių sąveikos jėga
Tiesaus begalinio laidininko	**Vijos centre**	**Solenoido viduje**	
$B_0 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_0}$.	$B_0 = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I}{r_0}$.	$B_C = \mu\mu_0 \frac{N}{l} I$. N – vijų skaičius.	$F = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_1 I_2}{r} \cdot l$; čia l – laidų ilgis, r – atstumas tarp laidų.

Magnetinis srautas Φ

Magnetinis srautas Φ – fizikinis dydis, lygus magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ modulio, ploto ΔS ir kampo α tarp magnetinės indukcijos vektoriaus $\vec{B}$ ir paviršiaus normalės $\vec{n}$ kosinuso sandaugai.

$\Delta\Phi = B\,\Delta S\cos\alpha$;
čia α – kampas tarp plotelio normalės $\vec{n}$ ir vektoriaus $\vec{B}$ krypčių.

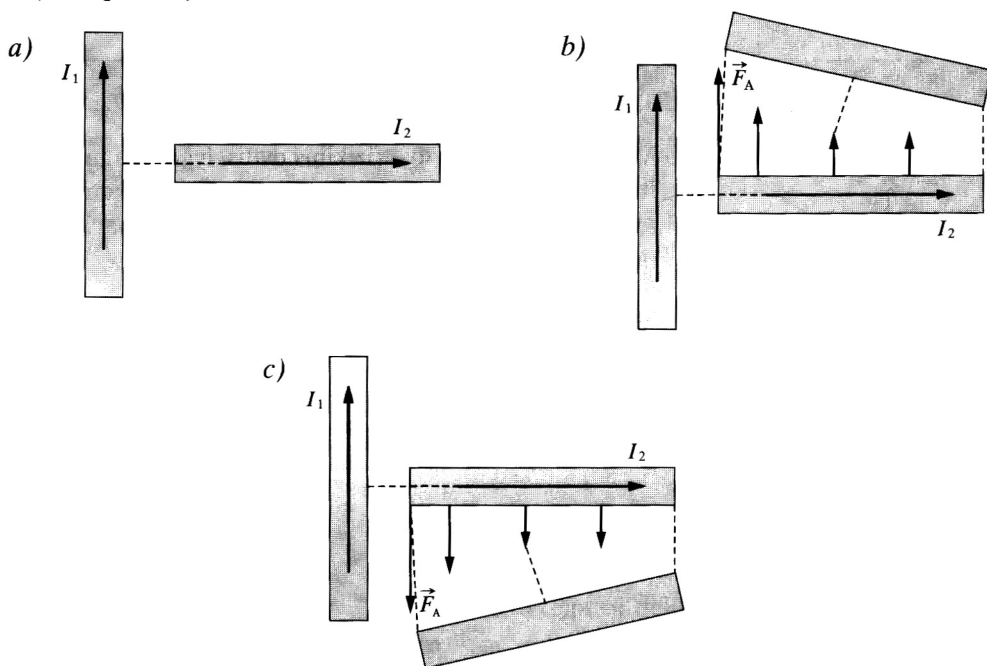
18.1 pavyzdys

Paaiškinkite magnetinę sąveiką dviejų statmenų laidų, kuriais teka parodytų krypčių I_1 ir I_2 stiprio elektros srovės (18.1 pav., *a*). Kaip judės antrasis laidas, kai pakeisime juo tekančios elektros srovės kryptį?

Sprendimas

Kiekvienas laidas yra kitu laidu tekančios elektros srovės sukurtame magnetiniame lauke. Taikydami dešiniosios rankos taisyklę pirmajai elektros srovei, nustatome, kad antrąjį laidininką veikia aukštyn nukreipta Ampero jėga (18.1 pav., *b*). Jos dydis mažėja, artėjant prie laido galo *A*, nes ta kryptimi mažėja ir magnetinė indukcija. Todėl laidas kils aukštyn ir kartu judės laikrodžio rodyklės kryptimi.

Pakeitus elektros srovės kryptį, laidas judės priešinga laikrodžio rodyklei kryptimi (18.1 pav., *c*).



18.1 pav.

18.2 pavyzdys

Ciklotronas greitina protonus iki 5 MeV energijos. Kokio didžiausio spindulio orbita juda protonas, jeigu magnetinio lauko indukcija lygi 1 T?

$W_k = 5\ \text{MeV} = 5 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{J} = 8 \cdot 10^{-13}\ \text{J}$
$B = 1\ \text{T}$
$m = 1{,}67 \cdot 10^{-27}\ \text{kg}$

$R - ?$

Sprendimas

Protonas juda ciklotrone spiraline orbita, susidedančia iš vis didėjančio spindulio pusapskritimių. Jį veikia Lorenco jėga $F = qvB$.

Protono judėjimui taikome antrąjį Niutono dėsnį: $F = ma$ (**1**); čia $a = a_{įc} = \frac{v^2}{R}$.

Vadinasi, **1** lygtį galime perrašyti šitaip: $qvB = \frac{mv^2}{R}$.

Iš pastarosios lygties išreiškiame protono judėjimo orbitos spindulį: $R = \frac{mv}{qB}$ (**2**).

Matematiškai pertvarkome **2** lygties skaitiklį:

$mv = \sqrt{2m}\sqrt{\frac{mv^2}{2}} = \sqrt{2mW_k}$ (**3**); čia W_k – protono kinetinė energija. **3** išraišką įrašę į **2** lygtį, gauname: $R = \frac{\sqrt{2mW_k}}{qB}$.

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame orbitos spindulį:

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} \cdot 8 \cdot 10^{-13}\,\text{J}}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \cdot 1\,\text{T}} = 0{,}32\ \text{m}.$$

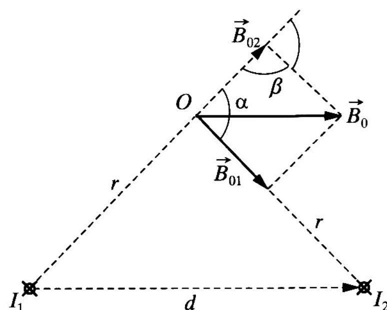
Atsakymas. Protonas magnetiniame lauke juda 32 cm spindulio orbita.

18.3* pavyzdys

Vienodos krypties ir vienodo stiprio $I_1 = I_2 = 20$ A elektros srovės teka dviem ilgais lygiagrečiais laidininkais. Atstumas tarp jų 5 cm. Apskaičiuokite sukurto magnetinio lauko indukciją taške, nutolusiame nuo kiekvieno laidininko atstumu, lygiu 3 cm.

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m
$I_1 = I_2 = I = 20$ A
$d = 5$ cm $= 5 \cdot 10^{-2}$ m
$r = 3$ cm $= 3 \cdot 10^{-2}$ m

B_0 – ?



18.2 pav.

Sprendimas

Elektros srovių sukurto lauko magnetinė indukcija pagal laukų superpozicijos principą lygi

$\vec{B}_0 = \vec{B}_{01} + \vec{B}_{02}$; čia $\vec{B}_{01}$ – pirmosios srovės lauko magnetinė indukcija taške O (18.2 pav.).

Taikome kosinusų teoremą ir randame atstojamąjį magnetinės indukcijos modulį:

$B_0 = \sqrt{B_{01}^2 + B_{02}^2 + 2B_{01}B_{02}\cos\alpha}$ (**1**); α – kampas tarp vektorių $\vec{B}_{01}$ ir $\vec{B}_{02}$. Jis randamas

iš atstumų trikampio: $\cos\alpha = \dfrac{r_1^2 + r_2^2 - d}{2r_1r_2}$ (**2**). Kadangi $r_1 = r_2 = r$, o $B_{01} = B_{02} = \dfrac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}$, tai, matematiškai pertvarkę **1** ir **2** lygtį, gauname:

$$B_0 = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r^2}\sqrt{4r^2 - d^2}.$$

Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, randame B_0:

$$B_0 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{H}}{\text{m}} \cdot 2\text{A}}{2\pi \cdot 9 \cdot 10^{-4}\text{m}^2}\sqrt{4 \cdot 9 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 - 25 \cdot 10^{-4}\text{m}^2} \approx 133 \cdot 10^{-6}\ \text{T} \approx 133\,\mu\text{T}.$$

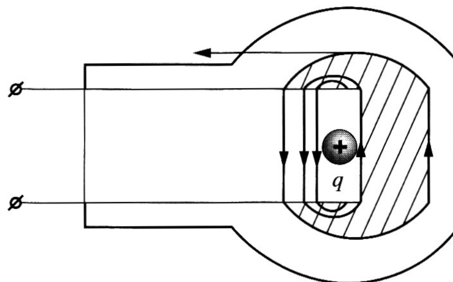
Atsakymas. Magnetinio lauko indukcija nagrinėjamame taške apytiksliai lygi 133 μT.

18.4* pavyzdys

Įtampa tarp ciklotrono duantų 40 kV. Per kiek laiko protonas ciklotrone įgis $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ J kinetinės energijos? Magnetinė indukcija 1 T.

$U = 40$ kV $= 40 \cdot 10^3$ V
$W_k = 1{,}6 \cdot 10^{-10}$ J
$B = 1$ T

τ –?



18.3 pav.

Sprendimas

Ciklotroną sudaro metaliniai duantai – plonasienės žemos dėžės pusės su tarpeliu (18.3 pav.). Duantai yra tarp elektromagneto polių. Prie duantų prijungta kintamoji įtampa. Krūvininkas greitinamas tik tarpelyje du kartus per periodą. Vadinasi, per vieną periodą protonas įgyja energijos $\Delta W_k = 2qU$ (**1**).

Taip samprotaudami, laikotarpį τ, per kurį protonas įgis W_k energijos, randame iš lygties $\tau = \dfrac{W_k}{\Delta W_k}T = \dfrac{W_k}{2qU}T$ (**2**).

Protono pasisukimo ciklotrone periodas T apibūdinamas lygtimi $T = \dfrac{2\pi R}{v} = \dfrac{2\pi \text{m}}{qB}$ (**3**).

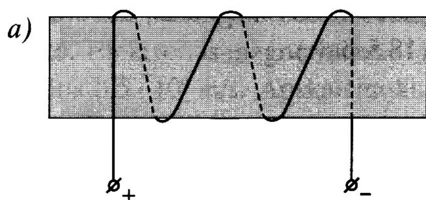
Matematiškai pertvarkę **2** ir **3** lygtį, gauname: $\tau = \dfrac{W_k}{2qU} \cdot \dfrac{2\pi m}{qB} = \dfrac{W_k \pi m}{q^2UB}$.

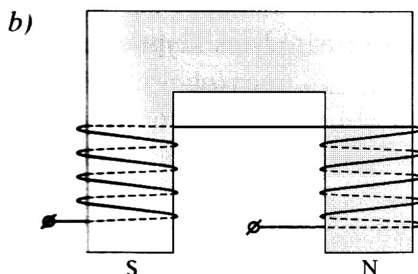
Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį:

$$\tau = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-10}\text{J} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}67 \cdot 10^{-27}\text{kg}}{(1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C})^2 \cdot 40 \cdot 10^3\text{V} \cdot 1\,\text{T}} = 0{,}82 \cdot 10^{-3}\text{s} = 0{,}82\ \text{ms}.$$

Atsakymas. Elektronas nurodytos energijos įgis per 0,82 ms.

18.1. Pažymėkite elektromagneto polius (18.4 pav., *a*) ir elektros srovės kryptį (18.4 pav., *b*).





18.4 pav.

18.2. Magnetinį lauką kuria tiesus begalinio ilgio laidininkas, kuriuo teka 5 A stiprio elektros srovė. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją taške, nutolusiame nuo laidininko atstumu, lygiu 2,5 cm.

18.3. Vija teka 2 A stiprio elektros srovė. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją vijos centre, jeigu jos spindulys 5 cm.

18.4. Vandenilio atome elektronas juda apskritimine $0{,}53 \cdot 10^{-8}$ cm spindulio orbita. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją orbitos centre, jei žinoma, kad judantis elektronas sukuria 0,01 mA stiprio srovę.

18.5. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją solenoido, turinčio geležinę šerdį, centre, jeigu jo 40 cm ilgį sudaro 400 vijų. Vijomis teka 8 A stiprio elektros srovė; geležies magnetinė skvarba lygi 183.

18.6. Į vienalytį magnetinį lauką, kurio magnetinė indukcija 1,26 mT, įneštas tiesus 20 cm ilgio laidininkas. Apskaičiuokite jėgą, kuria magnetinis laukas veikia laidininką, kai juo teka 50 A stiprio elektros srovė. Magnetinio lauko indukcijos vektorius su srovės tekėjimo kryptimi laidininke sudaro 30° kampą.

18.7. 0,5 m ilgio tiesų laidininką, esantį magnetiniame lauke, statmenai magnetiniam laukui, kurio magnetinė indukcija $2 \cdot 10^{-2}$ T, veikia 0,15 N jėga. Kokio stiprio elektros srovė teka laidininku?

18.8. Koks magnetinis srautas veria 280 cm^2 ploto plokščią paviršių, statmeną jėgų linijoms, ore esančiame vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio stipris 250 A/m?

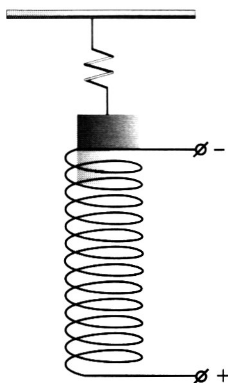
18.9. Koks magnetinis srautas veria $12 \cdot 10^3$A/m stiprio vienalyčiame magnetiniame lauke, esančiame ore, plokščią 2,4 m^2 paviršių, sudarantį su jėgų linijomis 30° kampą?

18.10. 1,6 m ilgio solenoidą sudaro 1400 vijų, kurių spindulys 4,8 cm. Šerdies nėra. Koks magnetinis srautas veria tą solenoidą, kai juo teka 6,3 A stiprio elektros srovė?

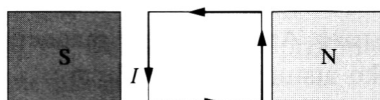
18.11. Kokį darbą reikia atlikti, kad 1,2 T indukcijos vienalyčiame magnetiniame lauke esantis 0,40 m ilgio laidininkas, kuriuo teka 21 A stiprio elektros srovė, pasislinktų 0,25 m? Laidininkas juda statmenai lauko jėgų linijoms.

18.12. Kodėl du laidininkai, kuriais teka tos pačios krypties srovės, traukia vienas kitą? Atsakymą iliustruokite brėžiniu.

18.13. Paaiškinkite, į kurią pusę ir kodėl judės tiesus magnetas, kai solenoidu ims tekėti parodytos krypties elektros srovė (18.5 pav.).



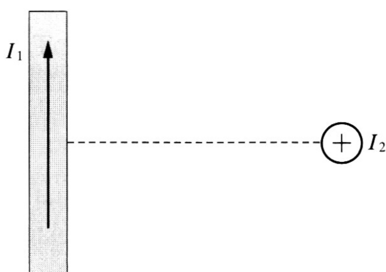
18.5 pav.



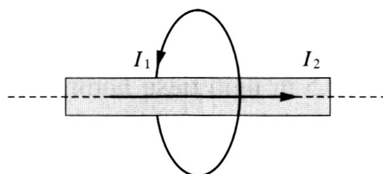
18.6 pav.

18.14. Brėžinio plokštumoje esantys elektros srovės rėmeliai yra tarp magneto polių (18.6 pav.). Apie kurią ašį ir kokiu kampu pasisuks rėmeliai?

18.15. I_1 ir I_2 stiprio elektros srovės teka dviem įtvirtintais statmenais laidais (18.7 pav.). Išsamiai paaiškinkite, kas atsitiks juos atlaisvinus.



18.7 pav.



18.8 pav.

18.16. Tiesus laidas yra vijos ašyje (18.8 pav.). Paaiškinkite laido ir vijos magnetinę sąveiką.

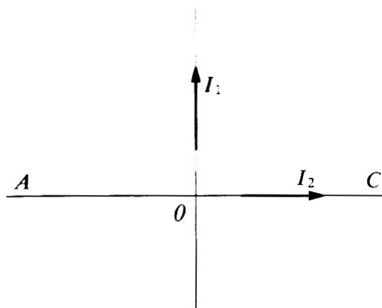
18.17. Elektronas, kurio greitis 10^7 m/s, juda lygiagrečiai su ilgu tiesiu laidu 2 mm atstumu nuo jo. Laidu teka 20 A stiprio elektros srovė. Kokio dydžio Lorenco jėga veikia elektroną?

18.18.* Reikia pagaminti 20 cm ilgio ir 5 cm skersmens solenoidą, kurio ašyje susikurtų 1,26 mT magnetinio lauko indukcija. Apskaičiuokite, kokio didumo potencialų skirtumą reikia sudaryti tarp solenoido laido galų. Vijoms naudojamas varinis 0,5 mm skersmens laidas.

18.19. Į vienalytį magnetinį lauką, kurio indukcija $2 \cdot 10^{-4}$ T, statmenai magnetinio lauko jėgų linijoms 10^8 cm/s greičiu įlekia elektronas. Apskaičiuokite apskritiminės orbitos, kuria judės elektronas, spindulį.

18.20. Elektronas magnetiniame lauke juda 4 mm spindulio apskritimu. Elektrono greitis $3{,}5 \cdot 10^6$ m/s. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją.

18.21. Protonas įlekia į vienalytį magnetinį lauką, kurio indukcija $2 \cdot 10^{-5}$ T, statmenai magnetinio lauko indukcijos linijoms. Kiek kartų protonas apsisuks magnetiniame lauke per 1s?

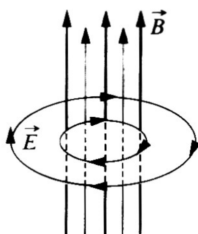


18.9 pav.

18.22. Kaip veiks vienas kitą du tarpusavyje statmeni laidininkai, kuriais teka elektros srovė (18.9 pav.)?

19. Elektromagnetinė indukcija

Elektromagnetinė indukcija

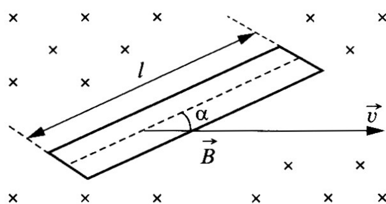


Kintant magnetinės indukcijos linijų, kertančių uždarą kontūrą, skaičiui, kontūre indukuojama elektros srovė.

Lenco taisyklė: uždarame kontūre atsirandanti indukuotoji srovė teka tokia kryptimi, kad jos magnetinės indukcijos srautas, kertantis kontūro ribojamą plotą, stengiasi kompensuoti jį sukūrusio magnetinio srauto didėjimą arba mažėjimą.

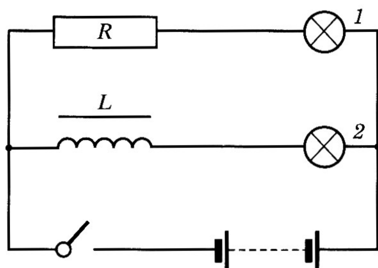
Kontūre atsiradusios indukuotosios elektrovaros modulis lygus magnetinės indukcijos srauto, kertančio kontūro ribojamą plotą, kitimo greičiui:

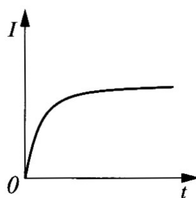
$\varepsilon_j = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ – uždarame kontūre; $\varepsilon_j = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}N$ – ritėje.



Indukuotoji elektrovara vienalytį magnetinį lauką kertančioje atkarpoje yra tiesiogiai proporcinga magnetinei indukcijai B, atkarpos ilgiui l, jos greičiui v ir priklauso nuo jos orientacijos judėjimo kryptimi: $\varepsilon_j = -Blv\sin\alpha$.

Saviindukcija



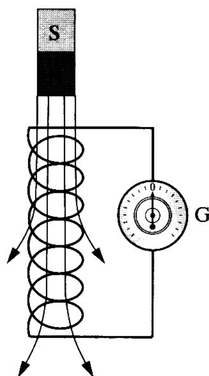


$\Phi \sim B \sim I$,
$\Phi = LI$.
$\varepsilon_s = -\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$;
čia L – induktyvumas.

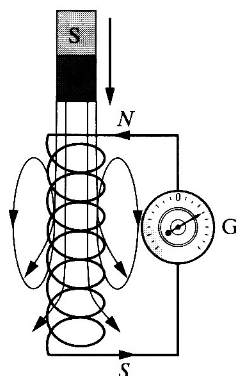
$[L] = 1\dfrac{\text{Vs}}{\text{A}} = 1\,\text{H}$.

Saviindukcija – tai reiškinys, kai kintantis magnetinis laukas indukuoja elektrovaros jėgą tame pačiame laidininke, kuriuo teka srovė, sukurianti tą lauką. Induktyvumas – tai fizikinis dydis, kurio skaitinė vertė lygi saviindukcinei elektrovarai, atsirandančiai kontūre, per 1 sekundę pakitus srovės stipriui 1 A.

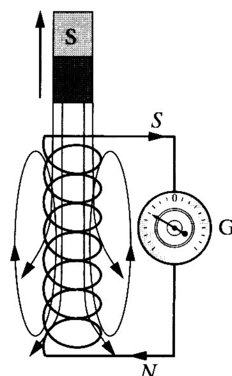
$W_L = \dfrac{LI^2}{2}$ – tai ritės magnetinio lauko energijos formulė, kai rite teka I stiprio elektros srovė.



Magnetas nejuda



Magnetas įkišamas



Magnetas ištraukiamas

19.1 pavyzdys

Solenoidą, neturintį šerdies, sudaro 800 vijų. Kai juo tekančios srovė stipris pakinta nuo 2,5 A iki 14,5 A, magnetinis srautas padidėja $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ Wb. Kokia vidutinė saviindukcijos elektrovara atsiranda tuo metu solenoide, jeigu srovė pakinta per 0,15 s? Kokia energija yra magnetinio lauko solenoido viduje, kai vijomis teka 5 A stiprio srovė?

$N = 800$
$I_1 = 2{,}5$ A
$\Delta t = 0{,}15$ s
$I_2 = 14{,}5$ A
$\Delta\Phi = 2{,}4 \cdot 10^{-3}$ Wb
$I = 5$ A

ε_{vid} – ? W_L – ?

Sprendimas

Vidutinę saviindukcijos elektrovarą galime rasti iš formulės $\varepsilon_{vid} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$.

Induktyvumui rasti taikome teiginį, kad solenoido sukurto magnetinio lauko srautas proporcingas juo tekančiai elektros srovei.

Iš čia išplaukia, kad $\Delta\Phi = L\Delta I$.

Vadinasi, solenoido induktyvumas $L = \dfrac{\Delta\Phi}{\Delta I}N$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame rezultatą: $L = \dfrac{2{,}4 \cdot 10^{-3}\,\text{Wb} \cdot 800}{14{,}5\,\text{A} - 2{,}5\,\text{A}} = 0{,}16\,\text{H}$.

Dabar apskaičiuojame vidutinę saviindukcijos elektrovarą:
$\varepsilon_{vid} = -0{,}16\,\text{H}\dfrac{14{,}5\,\text{A} - 2{,}5\,\text{A}}{0{,}15\,\text{s}} = -13\,\text{V}$. Minuso ženklas parodo, kad atsiradusi indukcijos elektrovara trukdo stiprėti magnetiniam laukui solenoide.

Magnetinio lauko energija apskaičiuojama iš formulės $W_L = \dfrac{LI^2}{2}$;

$$W_L = \frac{0{,}16\text{H} \cdot (5\,\text{A})^2}{2} = 2\,\text{J}.$$

Atsakymas. Vidutinė solenoide susidariusios saviindukcijos elektrovara lygi 13 V, o magnetinio lauko energija, tekant 5 A srovei, lygi 2 J.

19.2* pavyzdys

Tiesus 1,2 m ilgio laidininkas prijungtas lanksčiais laidais prie elektros energijos šaltinio, kurio elektrovara 24 V, o varža 0,50 Ω. Laidininko aplinkoje sudarytas 0,80 T indukcijos vienalytis magnetinis laukas, kurio kryptis – skaitytojo link (19.1 pav.). Visos išorinės grandinės varža lygi 2,5 Ω. Kokio stiprio srovė teka laidininku, kai jis juda statmenai lauko jėgų linijoms 12,5 m/s greičiu? Kiek kartų pakinta srovės stipris, kai laidininkas sustoja?

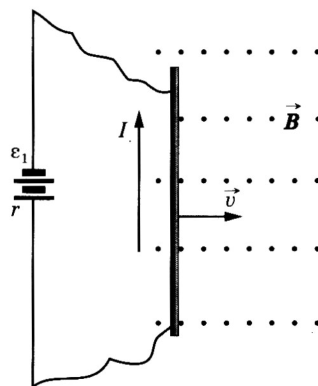
l = 1,2 m
ε_1 = 24 V
r = 0,5 Ω
B = 0,8 T
v = 12,5 m/s
R = 2,5 Ω

I_1 – ? $\frac{I_2}{I_1}$ – ?

Sprendimas

Srovės stiprį galime rasti remdamiesi Omo dėsniu visai grandinei $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$; čia ε – grandinėje veikianti elektrovara.

Kadangi laidininkas juda magnetiniame lauke, tai grandinėje veikia ne tik šaltinio baterijos elektrovara ε_1, bet ir indukcijos elektrovara $\varepsilon_{ind} = Blv$, kurios kryptis priešinga ε_1 krypčiai (pagal dešinės rankos taisyklę). Vadinasi,



19.1 pav.

$\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_{ind}$; $I_1 = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_{ind}}{R+r}$. Kai laidininkas sustoja, tai ε_{ind} išnyksta. Tuo atveju $\varepsilon = \varepsilon_1$. Randame ε_{ind}: $\varepsilon_{ind} = Blv$; $\varepsilon_{ind} = 0{,}8\,\text{T} \cdot 1{,}2\,\text{m} \cdot 12{,}5\frac{\text{m}}{\text{s}} = 12\,\text{V}$.

Apskaičiuojame grandine tekančios srovės stiprį, kai laidininkas juda:

$$I_1 = \frac{24\,\text{V} - 12\,\text{V}}{2{,}5\,\Omega + 0{,}5\,\Omega} = 4\,\text{A}.$$

Apskaičiuojame nejudančiu laidininku tekančios elektros srovės stiprį:

$$I_2 = \frac{\varepsilon_1}{R+r};\quad I_2 = \frac{24\,\text{V}}{2{,}5\,\Omega + 0{,}5\,\Omega} = 8\,\text{A}.$$

Elektros srovių santykis lygus $\frac{I_2}{I_1} = \frac{8\,\text{A}}{4\,\text{A}} = 2.$

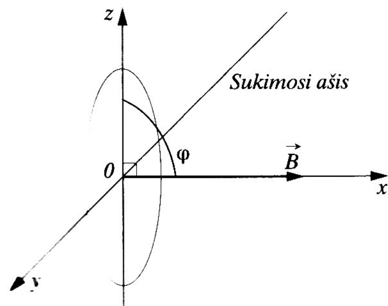
Atsakymas. Kai laidininkas juda, juo teka 4 A srovė, o kai sustoja, srovė dvigubai sustiprėja ir tampa lygi 8 A.

19.3* pavyzdys

Vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio indukcija $4 \cdot 10^{-2}$ T, yra apskrita 5 cm spindulio vija, kuria teka 1 A stiprio srovė. Vijos plokštuma statmena lauko magnetinės indukcijos vektoriui. Kokį darbą reikės atlikti pasukant viją 90° kampu apie ašį, sutampančią su jos skersmeniu (19.2 pav.)?

$R = 5$ cm $= 5 \cdot 10^{-2}$ m
$I = 1$ A
$\varphi = 90^\circ = \frac{\pi}{2}$ rad
$B = 4 \cdot 10^{-2}$ T

$A_{iš}$ – ?



19.2 pav.

Sprendimas

Iš pradžių vija, kuria teka srovė, yra stabili (nejuda), nes veikiantis jėgos (arba sukamasis) momentas lygus nuliui. Todėl, sukant viją, magnetinis laukas atlieka neigiamą darbą, o išorinė jėga – teigiamą. Darbas, kurį atlieka magnetinis laukas pasukdamas viją, lygus $A = I(\Phi_2 - \Phi_1)$ **(1)**; čia $\Phi_1 = BS \cos\alpha_1$ ir $\Phi_2 = BS\cos\alpha_2$ – magnetinės indukcijos srautas pro vijos plokštumą, kai ji yra atitinkamai pradinėje ir galutinėje padėtyje; $S = \pi R^2$ – vijos ribojamo paviršiaus plotas. Šiuo atveju $\alpha_1 = 0°$, o $\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$. Taigi magnetiniai srautai yra tokie:
$\Phi_1 = B\pi R^2 \cos\alpha_1$; $\Phi_2 = B\pi R^2\cos\alpha_2$. Įrašę šias išraiškas į **1** lygtį, gauname:
$A = IB\pi R^2(\cos\alpha_2 - \cos\alpha_1)$. Kadangi $A_{iš} = -A$, tai viją sukančios išorinės jėgos darbas $A_{iš} = IB\pi R^2(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame darbą, atliekamą pasukant viją 90° kampu:

$$A_{iš} = 1\text{A} \cdot 4 \cdot 10^{-2}\ \text{T} \cdot 3{,}14 \cdot (5 \cdot 10^{-2}\ \text{m})^2 (1 - 0) = 3{,}14 \cdot 10^{-4}\ \text{J}.$$

Atsakymas. Viją pasukant 90° kampu apie ašį, sutampančią su jos skersmeniu, reikia atlikti $3{,}14 \cdot 10^{-4}$ J darbą.

19.4* pavyzdys

25 cm skersmens žiedas, padarytas iš 2 mm storio aliumininio laido, yra magnetiniame lauke, kurio indukcijos vektorius statmenas žiedo plokštumai. Kokiu greičiu kinta lauko indukcija, jeigu žiede dėl to indukuojasi 12 A stiprio elektros srovė?

$D = 25$ cm $= 0{,}25$ m
$d = 2$ mm $= 2 \cdot 10^{-3}$ m
$I = 12$ A

$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ – ?

Sprendimas

Pagal elektromagnetinės indukcijos dėsnį $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$; čia $\Phi = BS$ – magnetinis srautas, veriantis žiedo ribojamą paviršių. Kadangi paviršiaus plotas S nekinta, tai $\Phi = \Delta(BS) = S\Delta B$ ir $\varepsilon = -S\frac{\Delta B}{\Delta t}$ **(1)**.

Iš **1** lygties gauname: $\left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right| = \frac{\Delta\varepsilon}{S}$.

Žiedo ribojamas paviršius yra skritulys, taigi jo paviršiaus plotas lygus

$S = \frac{\pi D^2}{4}$ (**2**).

Taikome Omo dėsnį uždarai grandinei $\varepsilon = IR$; čia $R = \frac{\rho l}{S_1}$ – žiedo varža. Kadangi žiedo ilgis $l = \pi D$, o laido skerspjūvio plotas $S_1 = \frac{\pi d^2}{4}$, tai žiedo varža $R = \frac{4\rho D}{d^2}$.

Vadinasi, $\varepsilon = \frac{4\rho DI}{d^2}$ (**3**).

Įrašę į **1** formulę **2** ir **3** išraiškas, gauname: $\left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right| = \frac{16 I\rho}{\pi D d^2}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame magnetinio lauko indukcijos kitimo greitį:

$$\left|\frac{\Delta B}{\Delta t}\right| = \frac{16 \cdot 12\text{A} \cdot 0{,}26 \cdot 10^{-7}\Omega\text{m}}{3{,}14 \cdot 0{,}25\,\text{m} \cdot \left(2 \cdot 10^{-3}\text{m}\right)^2} = 1{,}6\frac{\text{T}}{\text{s}}.$$

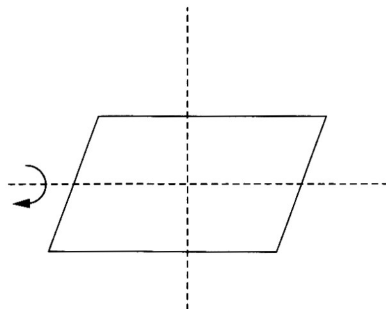
Atsakymas. Lauko indukcija kinta 1,6 T/s greičiu.

19.5* pavyzdys

Stačiakampis 500 cm^2 ploto rėmelis, sudarytas iš 200 vijų, tolygiai sukasi vienalyčiame magnetiniame lauke apie ašį, einančią per jo centrą lygiagrečiai su viena kraštine (19.3 pav.), 10 s^{-1} dažniu. Rėmelyje indukuojasi elektrovara, kurios didžiausia vertė 150 V. Kokia yra magnetinio lauko indukcija?

S = 500 cm^2 = $5 \cdot 10^{-2}$ m^2
N = 200
f = 10 s^{-1}
ε_{max} = 150 V

B – ?



19.3 pav.

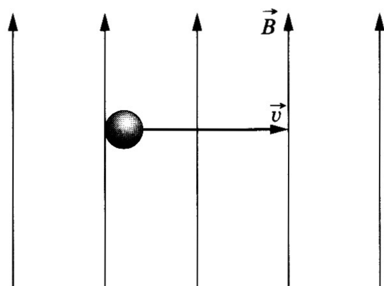
Sprendimas

Pagal elektromagnetinės indukcijos dėsnį rėmelyje, turinčiame N vijų ir besisukančiame magnetiniame lauke, indukuojasi elektrovara $\varepsilon = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ (**1**); čia $\Phi = BS\cos\omega t$, o $\omega = 2\pi f$. Įrašę šias išraiškas į **1** formulę ir suradę išvestinę, gauname: $\varepsilon = -N\frac{[BS\cos(2\pi ft)]}{\mathrm{d}t} = NBS2\pi f \cdot \sin 2\pi ft$. Indukuotosios

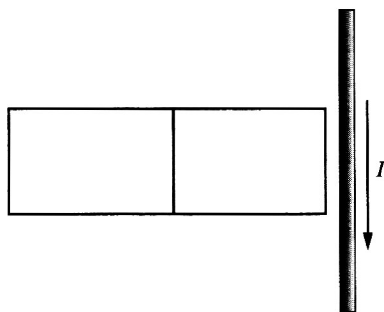
elektrovaros vertė bus didžiausia tais laiko momentais, kai $\sin\pi ft = 1$. Vadinasi, $\varepsilon_{max} = NBS2\pi f$. Iš čia $B = \frac{\varepsilon_{max}}{2\pi NSf}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame magnetinio lauko indukciją: $B = \frac{150\ \text{V}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 200 \cdot 5 \cdot 10^{-2}\ \text{m}^2 \cdot 10\ \text{s}^{-1}} = 0{,}24\ \text{T}$.

Atsakymas. Magnetinio lauko indukcija lygi 0,24 T.

19.1. Magnetiniame lauke, kurio jėgų linijos pavaizduotos 19.4 paveiksle, greičiu v juda laidininkas. Kuria kryptimi teka indukcinė srovė?



19.4 pav.



19.5 pav.

19.2. 19.5 paveiksle pavaizduotas laidininkas juda magnetiniame lauke skaitytojo link, ir laidininku rodyklės kryptimi teka indukuotoji srovė. Pavaizduokite magneto polius.

19.3. Laidininkas juda tarp magneto polių statmenai jėgų linijoms. Juo tekanti indukuotoji srovė nukreipta skaitytojo link (19.6 pav.). Kokia kryptimi juda šis laidininkas?



19.6 pav.

19.4. Automobilis važiuoja 120 km/h greičiu. Koks potencialų skirtumas indukuojasi tarp mašinos priekinės ašies galų, jei ta ašis yra 180 cm ilgio, o Žemės magnetinio lauko vertikali dedamoji lygi 40 A/m?

19.5. Tiesus laidininkas juda 25 m/s greičiu 0,0038 T indukcijos vienalyčiame lauke statmenai jėgų linijoms. Kokio ilgio yra tas laidininkas, jei tarp jo galų indukuojasi 28 mV įtampa?

19.6. Tiesus 120 cm ilgio laidininkas juda vienalyčiame magnetiniame lauke. Jo greitis lygus 15 m/s ir su jėgų linijomis sudaro 17° kampą. Kokia yra lauko indukcija, jei laidininke indukuojasi 6,2 mV elektrovara?

19.7. Tiesus 86 cm ilgio laidininkas juda 14 m/s greičiu vienalyčiame magnetiniame lauke, kurio indukcija 25 mT. Kokį kampą sudaro lauko indukcijos ir greičio vektoriai, jei tame lauke indukuojasi 0,12 V elektrovara?

19.8. Magnetiniame lauke yra rėmelis, sudarytas iš 25 vijų. Kokia elektrovara jame indukuojasi, kai magnetinis srautas per 0,16 s pakinta nuo 98 mWb iki 13 mWb?

19.9. Kai ritę veriantis magnetinis srautas per 0,32 s pakinta nuo 24 mWb iki 56 mWb, joje indukuojasi 10 V vidutinė elektrovara. Kiek vijų yra toje ritėje?

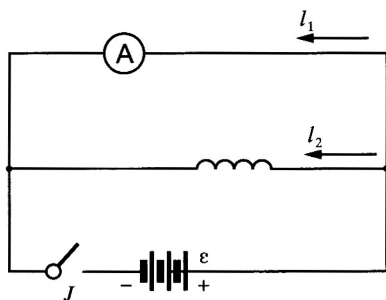
19.10. Kokio induktyvumo yra ritė, kurioje indukuojasi 14 V vidutinė saviindukcijos elektrovara, kai per 62 ms srovė pakinta 2,8 A?

19.11. Tekant rite 7,5 A srovei, ją veria 2,3 mWb magnetinis srautas. Ritę sudaro 120 vijų. Apskaičiuokite jos magnetinio lauko energiją.

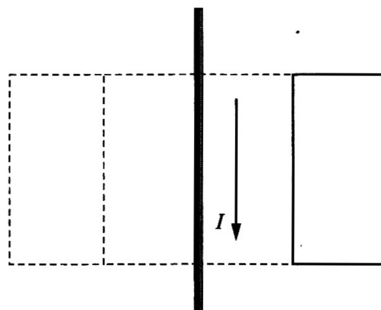
19.12. Kokio induktyvumo yra ritė, jeigu jos magnetinio lauko energija lygi 0,32 J, kai ja teka 6,2 A stiprio srovė?

19.13. 95 mH induktyvumo ritės magnetinio lauko energija lygi 0,19 J. Kokio stiprio elektros srovė teka rite?

19.14. Kuria kryptimi tekės elektros srovė ampermetru, grandinę nutraukiant jungikliu J (19.7 pav.)?



19.7 pav.



19.8 pav.

19.15. Uždaras metalinis žiedas slenka vienalyčiame magnetiniame lauke išilgai jėgų linijų. Ar jame atsiranda indukuotoji srovė? Atsakymą pagrįskite.

19.16. Vielos rėmelis sukasi apie laidininką kaip apie nejudamą ašį (19.8 pav.). Ar atsiranda rėmelyje srovė, kai tuo laidininku teka srovė I? Ar atsiras rėmelyje srovė, jeigu sukimosi ašis bus viena jo kraštinė? Atsakymus pagrįskite.

19.17. Ar gali būti erdvėje toks elektrinis laukas, kurio jėgų linijos uždaros? Jei gali, tai kokiu atveju?

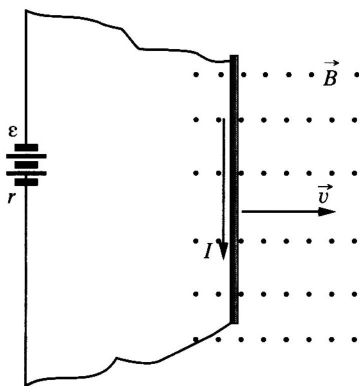
19.18. Kada būna didesnė saviindukcijos elektrovara – kai nuolatinės srovės grandinė sujungiama, ar kai nutraukiama? Atsakymą pagrįskite.

19.19. Kiek kartų padidės ritės be šerdies induktyvumas, jeigu vijų skaičius joje padidės dvigubai?

19.20. Kokie energijos virsmai vyksta elektrinėje grandinėje, kai, ją sujungus, stiprėja srovė? Atsakymą pagrįskite.

19.21.* Rėmelis, sudarytas iš 40 vielos vijų, apima 240 cm^2 plotą. Jis yra vienalyčiame magnetiniame lauke, statmename jo plokštumai. Rėmeliui pasisukus $\frac{1}{4}$ apsisukimo per 0,15 s, jame indukuojasi elektrovara, kurios vidutinė vertė 160 mV. Apskaičiuokite magnetinio lauko indukciją.

19.22.* Baterija, kurios elektrovara 12 V ir vidinė varža 0,5 Ω, prijungta lanksčiais laidais prie 80 cm ilgio laidininko, esančio 0,45 T indukcijos vienalyčiame magnetiniame lauke (19.9 pav.). Kai tas laidininkas juda pastoviu greičiu $\vec{v}$ statmenai jėgų linijoms, grandine teka 4 A stiprio elektros srovė. Kokiu greičiu juda laidininkas, jeigu prijungtos prie baterijos išorinės grandinės varža lygi 3,5 Ω, o magnetinio lauko kryptis yra skaitytojo link?

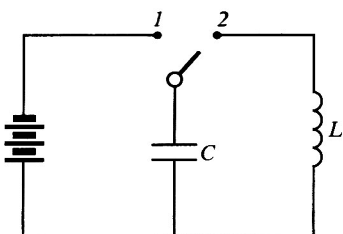


19.9 pav.

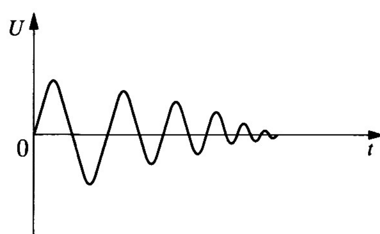
19.23.* Vienalyčiame 0,14 T indukcijos magnetiniame lauke, kurio kryptis – skaitytojo link, yra tiesus 1,5 m ilgio laidininkas. Jis prijungtas prie šaltinio baterijos, kurios elektrovara 8,5 V (žr. 19.9 pav.). Visos elektrinės grandinės varža lygi 3,2 Ω. Kiek pasikeis ta grandine tekančios srovės stipris, kai laidininkas pradės judėti 16 m/s greičiu paveiksle parodyta kryptimi?

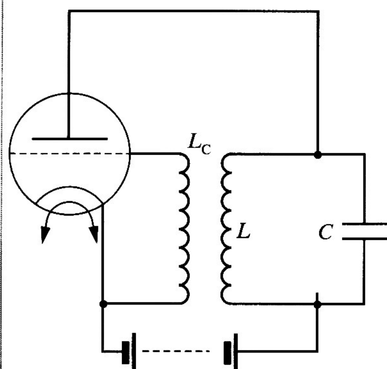
20. Elektromagnetiniai virpesiai ir bangos. Kintamoji elektros srovė

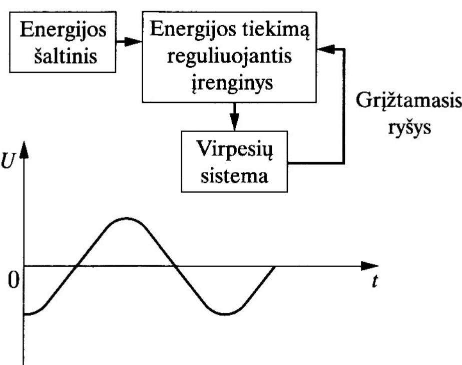
Elektromagnetiniais virpesiais vadinamas periodiškas elektros krūvio, srovės stiprio ir įtampos kitimas.



$$W_C = \frac{CU^2}{2} = \frac{q_m^2}{2C};$$
$$W_L = \frac{LI^2}{2};$$
$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$



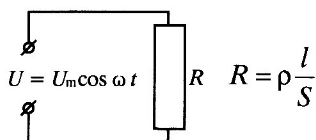




Kintamoji elektros srovė – tai priverstiniai elektromagnetiniai virpesiai, kurių dažnis lygus elektrovaros kitimo dažniui:

$e = \Phi' = -BS(\cos\omega t)' = BS\omega\sin\omega t = \varepsilon_m \sin\omega t;$ $\quad i = I_m \sin\omega t.$

Aktyvioji varža



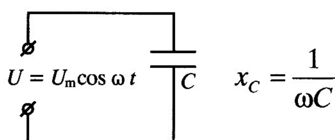
$R = \rho\frac{l}{S}$

$U = U_m\cos\omega t;$

$i = I_m\cos\omega t;$

$I = \frac{U}{R};\ i = \frac{u}{R};\ I_m = \frac{U_m}{R}.$

Talpinė varža



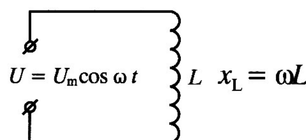
$x_C = \frac{1}{\omega C}$

$U = U_m\cos\omega t;$

$i = I_m\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right);$

$I = \frac{U}{x_C};\ i = \frac{u}{x_C};\ I_m = \frac{U_m}{x_C}.$

Induktyvioji varža



$x_L = \omega L$

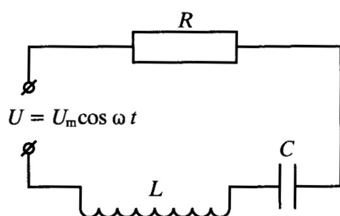
$U = U_m\cos\omega t;$

$i = I_m\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right);$

$I = \frac{U}{x_L};\ i = \frac{u}{x_L};\ I_m = \frac{U_m}{x_L}.$

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}};\qquad U_{ef} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

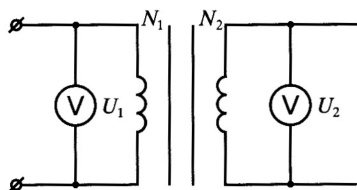
Omo dėsnis kintamosios srovės elektrinei grandinei



$$Z=\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2};$$

$$I=\frac{U}{Z};\quad I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Transformatorius



$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}=\frac{N_1}{N_2}=k;$$

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}.$$

Kai $k > 1$ (žeminamasis transformatorius), $N_1 > N_2$ ir $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$.

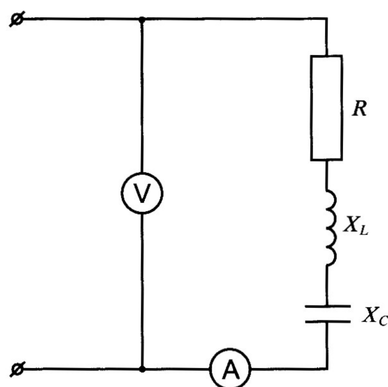
Kai $k < 1$ (aukštinamasis transformatorius), $N_1 < N_2$ ir $\varepsilon_1 < \varepsilon_2$.

20.1* pavyzdys

Įjungus ritę į 12 V įtampos nuolatinės srovės grandinę, ampermetras parodė 4 A stiprio srovę. Tą pačią ritę įjungus į 50 Hz dažnio ir 12 V įtampos kintamosios srovės grandinę, ampermetras parodė 2,4 A srovę. Koks yra ritės induktyvumas? Kokia bus aktyvioji srovės galia grandinėje, jeigu nuosekliai su ta rite įjungsime 394 μF talpos kondensatorių (20.1 pav.)?

$U_n = 12$ V
$I_n = 4$ A
$U_k = 12$ V
$I_k = 2{,}4$ A
$f = 50$ Hz
$C = 394\ \mu F = 394 \cdot 10^{-6}$F

L – ? P – ?



20.1 pav.

Sprendimas

Nuolatinės srovės grandinėje reaktyviosios varžos nėra, todėl pirmuoju atveju galime taikyti Omo dėsnį ir rasti ritės aktyviąją varžą R:

$$R=\frac{U_n}{I_n}.$$

Taikydami tą dėsnį kintamos srovės grandinei, rasime pilnutinę ritės varžą Z: $Z = \frac{U_k}{I_k}$, po to iš formulės $Z^2 = R^2 + X_L^2$ rasime induktyviąją varžą X_L. Žinodami X_L ir kintamosios srovės dažnį f, galėsime apskaičiuoti induktyvumą L pagal formulę $X_L = \omega L = 2\pi f L$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame R: $R = \frac{12\ \text{V}}{4\ \text{A}} = 3\ \Omega$; $Z = \frac{12\ \text{V}}{2{,}4\ \text{A}} = 5\ \Omega$. $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$; $X_L = \sqrt{25\ \Omega^2 - 9\ \Omega^2} = 4\ \Omega$. Apskaičiuojame ritės induktyvumą L ir kondensatoriaus varžą X_C: $L = \frac{X_L}{2\pi f}$;

$$L = \frac{4\ \Omega}{6{,}28 \cdot 50\ \text{Hz}} = 0{,}0127\ \text{H} = 12{,}7\ \text{mH}. \quad X_C = \frac{1}{2\pi f C};$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\ \text{Hz} \cdot 394 \cdot 10^{-6}\ \text{F}} = 8\ \Omega.$$

Srovės aktyviąją galią su įjungtu į grandinę kondensatoriumi apskaičiuojame iš formulės $P = U_k I'_k \cos\varphi$, kurioje I'_k išreiškiama šitaip:

$$I'_k = \frac{U_k}{Z} = \frac{U_k}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}.$$

Skaičiavimams reikalingą galios koeficientą randame taip:

$\cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$. Aktyviajam galingumui P rasti apskaičiuojame galios koeficientą ir srovės stiprį I'_k, kai grandinėje įjungtas kondensatorius:

$\cos\varphi = \frac{3\ \Omega}{\sqrt{9\ \Omega^2 + (4\ \Omega - 8\ \Omega)^2}} = 0{,}6$; $I'_k = \frac{12\ \text{V}}{\sqrt{9\ \Omega^2 + (4\ \Omega - 8\ \Omega)^2}} = 2{,}4\ \text{A}$. Vadinasi, $P = 12\ \text{V} \cdot 2{,}4\ \text{A} \cdot 0{,}6 = 17{,}3\ \text{W}$.

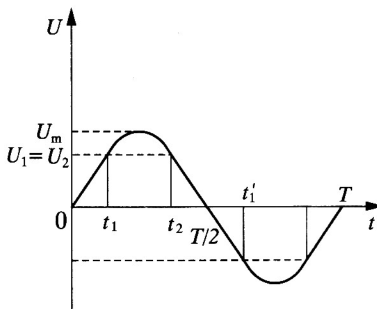
Atsakymas. Ritės induktyvumas 12,7 mH, srovės aktyvioji galia, kai grandinėje nuosekliai įjungta ritė ir kondensatorius, lygi 17,3 W.

20.2 pavyzdys

Neoninė lemputė, kuri įsižiebia ir užgesta esant 84 V įtampai, įjungiama į pramoninio dažnio kintamosios srovės grandinę. Efektinė įtampa grandinėje 120 V. Apskaičiuokite laiką tarp lempos žybtelėjimų ir žybsnio trukmę.

$U_1 = U_2 = 84$ V
$U_{ef} = 120$ V
$T = 0{,}02$ s

Δt_1 – ? Δt_2 – ?



20.2 pav.

Sprendimas

Kintamoji įtampa neoninėje lemputėje apibūdinama lygtimi $U = U_m \sin\frac{2\pi}{T}t$; čia U_m – įtampos amplitudė. Šios lygties grafikas pavaizduotas 20.2 paveiksle. Lemputė įsižiebs kas pusperiodį, kai įtampa bus tokia, kurios reikia lempai įžiebti. Laiką nuo periodo pradžios iki lemputės įsižiebimo rasime iš lygties $U_1 = U_m \sin\frac{2\pi}{T}t_1$ **(1)**. Iš teorijos žinome, kad $U_m = \sqrt{2}U_{ef}$, todėl **1** lygtį galime parašyti taip: $U_1 = \sqrt{2}U_{ef}\sin\frac{2\pi}{T}t_1$. Iš pastarosios lygties išreiškiame sinusą ir, atlikę trigonometrinį dydžių skaičiavimą, randame laiką t_1: $\sin\frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{U}{\sqrt{2}\cdot U_{ef}}$;

$\sin\frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{84\text{ V}}{1{,}4\cdot 120\text{ V}} = \frac{1}{2}$. Vadinasi, $\frac{2\pi}{T}t_1 = \frac{\pi}{6}$; $t_1 = \frac{T}{12}$;

$t_1 = \frac{0{,}02\text{ s}}{12} = 1{,}66\cdot 10^{-2}\text{s}.$

Iš uždavinio sąlygos žinome, kad įtampa lempai įsižiebiant ir užgęstant yra vienoda, todėl, remdamiesi 20.2 paveikslu, rašome:

$\Delta t_1 = t_1' - t_2 = 2t_1 = \frac{T}{6}$; $\Delta t_1 = \frac{0{,}02\text{ s}}{6} \approx 0{,}0033\text{ s}.$

Žybsnio trukmė apskaičiuojama taip:

$\Delta t_2 = \frac{T}{2} - 2t_1 = \frac{T}{2} - \frac{T}{6} = \frac{T}{3}$; $\Delta t_2 = \frac{0{,}02\text{ s}}{3} \approx 0{,}0066\text{ s}.$

Atsakymas. Laiko tarpas tarp dviejų neoninės lemputės žybtelėjimų lygus 0,0033 s, o žybsnio trukmė – 0,0066 s.

20.3 pavyzdys

Į 220 V pramoninio dažnio kintamosios srovės grandinę nuosekliai įjungti 40 μF talpos kondensatorius, 0,5 H ritė ir 5 Ω varžos rezistorius. Apskaičiuokite kintamosios srovės efektinę vertę.

$U_{ef} = 220$ V
$C = 40$ μF $= 40 \cdot 10^{-6}$ F
$L = 0{,}5$ H
$R = 5$ W
$f = 50$ Hz

I_{ef} – ?

Sprendimas

Remiantis Omo dėsniu kintamosios srovės grandinei, $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{Z}$ (**1**), čia Z – pilnutinė grandinės varža (inpedansas); U_{ef} – efektinė įtampa.

Pilnutinė grandinės varža apskaičiuojama pagal formulę $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}^2$. Kadangi $\omega = 2\pi f$, pilnutinės varžos galutinė išraiška yra $Z = \sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}^2$ (**2**). **2** išraišką įrašę į **1** formulę, gauname: $I_{ef} = \frac{U_{ef}}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}$. Dabar įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame kintamosios srovės grandinės efektinę srovę:

$$I_{ef} = \frac{220\,\text{V}}{\sqrt{(5\,\Omega)^2 + \left(2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\,\text{Hz} \cdot 0{,}5\,\text{H} - \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50\,\text{Hz} \cdot 40 \cdot 10^{-6}\,\text{F}}\right)^2}} = 2{,}85\,\text{A}.$$

Atsakymas. Grandine tekėjo 2,85 A stiprio efektinė srovė.

20.4 pavyzdys

Virpesių kontūrą sudaro 0,2 mH induktyvumo ritė ir kintamosios talpos kondensatorius, kurio talpą galima keisti nuo 50 pF iki 450 pF. Kokio bangos ilgio virpesiai susidaro šiame kontūre?

$L = 0{,}2$ mH $= 0{,}2 \cdot 10^{-3}$ H	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
$C_1 = 50$ pF $= 50 \cdot 10^{-12}$ F	
$C_2 = 450$ pF $= 450 \cdot 10^{-12}$ F	

λ_1 – ? λ_2 – ?

Sprendimas

Bangos ilgis apibūdinamas lygtimi $\lambda = cT$ (**1**), o periodas – $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Keičiant kondensatoriaus talpą, virpesių periodas kis nuo $T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1}$ iki $T_2 = 2\pi\sqrt{LC_2}$.

T_1 ir T_2 išraiškas įrašę į **1** lygtį, gaunaname λ_1 ir λ_2:

$\lambda_1 = c \cdot 2\pi\sqrt{LC_1}$ ir $\lambda_2 = c \cdot 2\pi\sqrt{LC_2}$. Į pastarąsias lygtis įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame virpesių kontūre susidariusių bangų ilgius:

$$\lambda_1 = 3 \cdot 10^8 \text{m/s} \cdot 2 \cdot 3{,}14\sqrt{0{,}2 \cdot 10^{-3}\ \text{H} \cdot 50 \cdot 10^{-12}\ \text{F}} = 188\ \text{m}.$$

$$\lambda_2 = 3 \cdot 10^8 \text{m/s} \cdot 2 \cdot 3{,}14\sqrt{0{,}2 \cdot 10^{-3}\ \text{H} \cdot 450 \cdot 10^{-12}\ \text{F}} = 565\ \text{m}.$$

Atsakymas. Kontūre susidariusių virpesių bangos ilgis yra nuo 188 m iki 565 m.

20.5 pavyzdys

Radiolokatorius gali aptikti objektus, kurių atstumas iki lokatoriaus yra nuo 100 m iki 100 km. Apskaičiuokite, kokios trukmės impulsus siunčia radiolokatorius ir koks yra šių impulsų spinduliavimo dažnis?

Sprendimas

$s_1 = 100$ m	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
$s_2 = 100$ km $= 10^5$ m	

τ –? f – ?

Nuo objekto atsispindėjęs spindulys (kai objektas yra mažiausiai nutolęs nuo radiolokatoriaus) bus užregistruotas tik tuo atveju, jei jo pasiuntimo ir grįžimo laikas bus didesnis arba bent lygus impulso trukmei, t. y. $\tau = t_1 = \frac{2s_1}{c}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį: $\tau = \dfrac{2 \cdot 100\ \text{m}}{3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 7 \cdot 10^{-7}$ s.

Laikas, kurį pasiųstas signalas sugaišta nukeliauti iki objekto ir grįžti atgal (kai objektas yra labiausiai nutolęs nuo radiolokatoriaus), neturi viršyti siunčiamų impulsų periodo. Vadinasi, $t_2 = \frac{2s_2}{c} = T = \frac{1}{f}$. Iš pastarosios lygties matome, kad $f = \frac{c}{2s_2}$;

$$f = \frac{3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 10^5\ \text{m}} = 1500\ \text{Hz} = 1{,}5\ \text{kHz}.$$

Atsakymas. Radiolokatoriaus siunčiamų impulsų trukmė $7 \cdot 10^{-7}$ s, o jų dažnis 1,5 kHz.

20.1. Kaip priklauso realaus kontūro virpesiai nuo jo ritės aktyviosios varžos didumo? Atsakymą pagrįskite.

20.2. Kodėl realiame kontūre sužadinti elektromagnetiniai virpesiai slopsta? Ką daryti, kad jie nesloptų?

20.3. Kokiam virpesių dažniui suderintas imtuvo virpesių kontūras, jeigu jo induktyvumas 1,5 mH, o talpa 450 pF?

20.4. Virpesių kontūrą sudaro 0,4 pF talpos kondensatorius ir 0,1 H induktyvumo ritė. Kondensatoriaus plokščių potencialų skirtumo amplitudinė vertė 80 V. Apskaičiuokite srovės stiprio amplitudinę vertę.

20.5. Kontūrą sudaro 0,05 μF talpos kondensatorius ir 0,507 H induktyvumo ritė. Kondensatorius įkrautas maksimaliu 5 μC krūviu. Parašykite srovės stiprio kontūre ir kondensatoriaus plokščių įtampos kitimo lygtis. Kokia yra kondensatoriaus įtampa ir koks yra srovės stipris laiko momentu $t_1 = \frac{T}{4}$ ir $t_2 = \frac{T}{2}$? Nubraižykite $u = f(t)$ ir $i = f(t)$ grafikus.

20.6. Virpesių kontūro kondensatoriaus plokščių įtampa kinta pagal dėsnį, išreikštą lygtimi $u = 75 \cos 1000\pi t$ (V). Kondensatoriaus talpa 0,05 μF. Nustatykite: a) virpesių periodą; b) kontūro induktyvumą; c) srovės stiprio kitimo lygtį; d) virpesių dažnį.

20.7. Virpesių kontūro kondensatoriaus plokščių įtampa kinta pagal dėsnį, kurį nusako lygtis $u = 50 \cos 10\,000\pi t$ (V). Kondensatoriaus talpa lygi 0,1 μF. Nustatykite ir parašykite: a) virpesių dažnį; b) kontūro induktyvumą; c) srovės kitimo dėsnį; d) virpesių periodą.

20.8. Du lygiagrečiai sujungti kondensatoriai, kurių talpa $C_1 = C_2 = 50$ pF, buvo pakeisti tokiais pat dviem nuosekliai sujungtais kondensatoriais. Kontūro rezonanso dažnis dėl to pakito dydžiu $\Delta F = 2$ MHz. Koks yra kontūro induktyvumas?

20.9. Virpesių kontūro dažnio kitimo diapazonas yra 200 Hz $\leq f \leq$ 400 Hz. Kondensatoriaus talpa 5 μF. Apskaičiuokite ritės induktyvumo kitimo ribas.

20.10. Du virpesių kontūro kondensatoriai sujungti lygiagrečiai. Vieno talpa 1 nF, kito, derinamojo, talpos kitimo ribos yra tokios: 100 pF $\leq C_2 \leq$ 1000 pF. Kontūro induktyvumas 1 mH. Apskaičiuokite kontūro savųjų virpesių dažnio diapazoną.

20.11.* Virpesių kontūrą sudaro 48 μF talpos kondensatorius ir ritė, kurios induktyvumas 24 mH, o aktyvioji varža 20 Ω. Kokio dažnio virpesiai sukuriami šiame kontūre? Kiek pasikeistų savųjų virpesių dažnis, jeigu ritė neturėtų aktyviosios varžos?

20.12.* Virpesių kontūrą sudaro dvi lygiagrečiai sujungtos ritės L_1 ir L_2 bei prie jų prijungtas kondensatorius *C*. Apskaičiuokite šio kontūro rezonansinį dažnį.

20.13. 300 mH induktyvumo ritė prijungta prie plokščiojo kondensatoriaus, kurio plokščių plotas 100 cm^2, o atstumas tarp jų 0,1 mm. Tarpas tarp plokščių pripildytas dielektriko. Kontūro savųjų virpesių dažnis lygus 400 kHz. Kokio dielektriko pripildytas kondensatorius?

20.14. Kontūro talpa 0,05 μF, induktyvumas 0,507 H ir maksimalus pakrauto kondensatoriaus krūvis lygus 5 μC. Parašykite kontūro elektrinio lauko, magnetinio lauko ir pilnutinės energijos kitimo lygtis. Apskaičiuokite kiekvienos energijos vertę, kai: a) $t_1 = \frac{T}{8}$; b) $t_2 = \frac{T}{4}$; c) $t_3 = \frac{T}{2}$; d) $t_4 = T$.

20.15. Vienalyčiame B indukcijos magnetiniame lauke vielinis S ploto rėmelis tolygiai sukamas apie ašį, statmeną magnetinės indukcijos vektoriaus krypčiai. Rėmelio sukimosi periodas T. Parašykite rėmelį kertančio magnetinio srauto Φ ir jame indukuotos elektrovaros kitimo lygtis.

20.16. Rėmelyje, kuris tolygiai sukasi vienalyčiame magnetiniame lauke, indukuojama sinusinė elektrovara. Kaip ji pakis, jeigu rėmelio sukimosi dažnį padidinsime du kartus?

20.17. 10 mT indukcijos vienalyčiame magnetiniame lauke 400 cm^2 ploto ir 100 vijų rėmelis tolygiai sukasi apie ašį, statmeną magnetinio lauko jėgų linijoms. Sukimosi periodas 0,1 s. Apskaičiuokite rėmelyje indukuotos elektrovaros amplitudinę vertę. Parašykite momentinės elektrovaros vertės kitimo lygtį.

20.18. Rėmelis, kurį sudaro 60 vijų, vienalyčiame 25 mT indukcijos magnetiniame lauke 360 aps/min greičiu tolygiai sukasi apie ašį, statmeną jėgų linijoms. Rėmelio kraštinės, statmenos sukimosi ašiai, yra 96 cm ilgio ir nutolusios nuo sukimosi ašies 20 cm atstumu. Apskaičiuokite rėmelyje indukuotos elektrovaros jėgos efektinę vertę.

20.19.* Kvadratinis 625 cm^2 ploto rėmelis, padarytas iš varinės vielos, tolygiai sukamas 1200 aps/min greičiu apie ašį, statmeną magnetinio lauko jėgų linijoms, vienalyčiame 10 mT indukcijos magnetiniame lauke. Apskaičiuokite, kiek laipsnių pakinta rėmelio temperatūra per 1 min. Tarkite, kad visa išsiskyrusi šiluma suvartojama rėmeliui šildyti.

20.20. Pramoninio 50 Hz dažnio kintamosios srovės tinklo efektinė įtampa lygi 220 V. Parašykite įtampos momentinės vertės kitimo lygtį.

20.21. Įtampa kintamosios srovės grandinėje kinta pagal dėsnį, išreikštą lygtimi $u = 170 \sin 628t$ (V). Apskaičiuokite jos efektinę vertę, dažnį ir periodą.

20.22. Srovės stipris grandinėje kinta pagal dėsnį, išreikštą lygtimi: $i = 14{,}1 \sin (3{,}14t + 0{,}82)$ (A). Apskaičiuokite srovės efektinę vertę, dažnį bei pradinę fazę ir srovės stiprį laiko momentais $t_1 = 0{,}008$ s bei $t_2 = 0{,}02$ s.

20.23. Ritė įjungta į kintamosios srovės tinklą. Srovės stipris ir įtampa joje kinta šitaip: $i = 1{,}5 \sin 314t$ (A) ir $u = 9 \sin (3{,}14\,t + 0{,}25)$ (V). Apskaičiuokite šių dydžių fazių skirtumą ir jų vertes momentu $t = 0{,}01$ s.

20.24. Į kintamosios srovės grandinę, kurios įtampa 220 V, nuosekliai įjungti 40 μF talpos kondensatorius ir 0,5 H induktyvumo ritė. Ritės aktyvioji varža 5 Ω. Apskaičiuokite srovės stiprio efektinę reikšmę. Kintamos srovės dažnis 50 Hz.

20.25. Elektrovara kintamosios srovės grandinėje išreiškiama lygtimi $\varepsilon = 120 \sin 628t$. Apskaičiuokite jos efektinę reikšmę ir kitimo periodą.

20.26. 250 μF talpos kondensatorius įjungiamas į kintamosios srovės grandinę. Apskaičiuokite jo varžą, kai srovės dažnis 50, 200 ir 400 Hz.

20.27. 35 mH induktyvumo ritė įjungta į kintamosios srovės grandinę. Kokia yra jos induktyvioji varža, kai srovės dažnis 60, 240 ir 480 Hz?

20.28. 60 mH induktyvumo ritės aktyvioji varža 20 Ω. Įjungus ritę į pramoninio dažnio tinklą, grandine tekėjo 0,6 A srovė. Apskaičiuokite ritės pilnutinę varžą, tinklo įtampą ir galios koeficientą.

20.29. Dvi nuosekliai sujungtos ritės, kurių aktyvioji varža 6 Ω ir 10 Ω, o induktyvioji varža 10 Ω ir 12 Ω, prijungtos prie 120 V kintamosios pramoninio dažnio įtampos. Apskaičiuokite ritėmis tekančios srovės stiprį.

20.30. Ritė, kurios aktyvioji varža 10 Ω, o induktyvioji varža 16 Ω, įjungta į pramoninio dažnio kintamosios srovės tinklą. Rite teka 6 A srovė. Apskaičiuokite įtampos kritimą ritėje: a) aktyvųjį, b) induktyvųjį, c) pilnutinį. Kokio didumo yra srovės ir įtampos fazių poslinkio kampas?

20.31. Grandinėje nuosekliai sujungti kondensatorius ir rezistorius. Išmatavus įtampos kritimą rezistoriuje, voltmetras rodė 160 V, tarp kondensatoriaus gnybtų buvo 120 V įtampa, o grandine tekėjo 1 A srovė. Apskaičiuokite: a) kondensatoriaus talpą; b) rezistoriaus varžą; c) tinklo įtampą.

20.32. Grandinę sudaro nuosekliai tarpusavyje sujungti 100 Ω varžos rezistorius, 2 H induktyvumo ritė ir 0,2 μF talpos kondensatorius. Koks turi būti dažnis, kad srovės stiprio ir įtampos fazės skirtųsi dydžiu $\frac{\pi}{6}$?

20.33. Kintamosios srovės amplitudė 2 A, grandine tekančios srovės aktyvioji galia 173 W, įtampos ir srovės fazių skirtumas $\frac{\pi}{6}$. Apskaičiuokite reaktyviojo įtampos kritimo grandinėje amplitudę.

20.34. Įtampa ir srovė imtuve kinta taip: $u = 311{,}1 \sin 314t$; $i = 14{,}1 \sin\left(314t - \frac{\pi}{3}\right)$. Kokio pobūdžio yra imtuvo varža? Apskaičiuokite imtuvo vartojamos srovės aktyviąją galią.

20.35. Srovės stipris kinta pagal dėsnį $i = 8{,}5 \sin(314t + 0{,}651)$. Apskaičiuokite jo efektinę reikšmę, pradinę fazę ir dažnį. Koks yra srovės stipris momentu $t_1 = 0{,}08$ s ir $t_2 = 0{,}042$ s?

20.36. Ritės aktyvioji varža 4 Ω, o srovės stipris išreiškiamas formule $i = 6{,}4 \sin 314t$. Apskaičiuokite aktyviąją galią ir maksimalią srovės reikšmę.

20.37. Ritė, kurios induktyvumas lygus 45 mH, o aktyvioji varža 10 Ω, įjungta į kintamosios srovės grandinę. Raskite srovės stiprį ir $\cos\varphi$, kai srovės dažnis lygus 50 Hz, o įtampa 220 V.

20.38.* 800 μF talpos kondensatorius įjungtas į 50 Hz dažnio kintamosios srovės tinklą. Jungiamųjų laidų varža 3 Ω, tinklo įtampa 120 V. Apskaičiuokite kondensatoriumi tekančios srovės stiprį ir $\cos\varphi$. Nubraižykite vektorinę diagramą.

20.39.* Ritė, kurios aktyvioji varža 15 Ω ir induktyvumas 52 mH, įjungta į 50 Hz dažnio kintamosios srovės grandinę nuosekliai su 120 μF talpos kondensatoriumi. Tinklo įtampa 220 V. Apskaičiuokite srovės stiprį, aktyviąją ir pilnutinę srovės galią.

20.40.* Ritė, kurios aktyvioji varža 2 Ω ir induktyvumas 75 mH, prijungta nuosekliai su kondensatoriumi prie 50 Hz dažnio ir 50 V įtampos kintamosios srovės tinklo. Kokia turi būti kondensatoriaus talpa, kad toje grandinėje įvyktų įtampų rezonansas? Kokia įtampa veikia ritę ir kokia – kondensatorių?

20.41. Ritės aktyvioji varža 3 Ω, induktyvioji – 9,54 Ω. Kokio stiprio srovė tekės šia rite, prijungta prie pramoninio dažnio 40 V įtampos?

20.42. 60 mH induktyvumo ritės aktyvioji varža 20 Ω. Įjungus ritę į pramoninio dažnio tinklą, grandine tekėjo 0,6 A srovė. Apskaičiuokite ritės pilnutinę varžą, tinklo įtampą ir galios koeficientą $\cos\varphi$.

20.43. Du vienas su kitu nuosekliai sujungti kondensatoriai, kurių talpa 0,2 μF ir 0,1 μF, įjungti į pramoninio dažnio 220 V įtampos tinklą. Apskaičiuokite grandine tekančios srovės stiprį bei įtampų kritimą kondensatoriuose.

20.44. Kas bus, jeigu transformatorių, apskaičiuotą 127 V įtampai, įjungsime į 110 V nuolatinės srovės grandinę? Kodėl transformatorių naudingumo koeficientas yra daug didesnis už elektros variklių naudingumo koeficientą?

20.45. Transformatorius, kurio pirminėje apvijoje yra 880 vijų, žemina įtampą nuo 220 V iki 36 V. Apskaičiuokite transformacijos koeficientą ir antrinės apvijos vijų skaičių. Kurios apvijos laidų skerspjūvio plotas didesnis?

20.46. Kiek vijų yra antrinėje transformatoriaus apvijoje, kai įtampą transformatorius pakelia nuo 110 V iki 1000 V, jeigu pirminėje apvijoje yra 20 vijų?

20.47.* Transformatorius, dirbdamas tuščiąja eiga, ima iš tinklo mažai energijos. Kam ji eikvojama? Koks tada būna pirminėje grandinėje fazių skirtumo kampas φ?

20.48.* Transformatoriaus pirminė apvija prijungta prie 220 V įtampos tinklo, o joje esantis ampermetras rodo 1 A stiprio srovę. Antrinė apvija maitina 12 V įtampos kaitinamąją lempą, kuria teka 3 A srovė. Transformatoriaus naudingumo koeficientas 0,8. Apskaičiuokite įtampos ir srovės virpesių fazių skirtumą pirminėje apvijoje.

20.49. Vienfazio transformatoriaus transformacijos koeficientas 60, pirminės apvijos įtampa 6600 V. Tuščiosios eigos pirminės apvijos srovė 10 A, galios koeficientas siekia tik 0,3. Apskaičiuokite šio transformatoriaus tuščiosios eigos galią. Kam ji vartojama? Apskaičiuokite antrinės apvijos įtampą.

20.50. Transformatoriaus pirminė apvija vartoja 5 kW galią, apkrovos srovė 50 A, antrinės apvijos grandinės galios koeficientas 0,9. Transformatoriaus naudingumo koeficientas 0,94. Apskaičiuokite antrinės apvijos įtampą.

20.51. Vienfazio transformatoriaus galia 50 kW, tuščiosios eigos nuostoliai 800 W, trumpojo jungimo bandymo galia 1200 W. Apskaičiuokite transformatoriaus naudingumo koeficientą.

20.52. Per kiek laiko grįš į radiolokatorių atsispindėjęs nuo kliūties signalas, jei žvalgomas objektas yra 50 km atstumu nuo lokatoriaus?

20.53. Radiolokatorius gali aptikti objektus, esančius nuo jo 100 m ir 100 km atstumu. Apskaičiuokite siunčiamų impulsų trukmę ir dažnį.

20.54.* Apskaičiuokite bangos ilgį, kai elektromagnetinius virpesius sukuria virpesių kontūras, sudarytas iš ritės, kurios induktyvumas 0,05 Hz, ir plokščiojo kondensatoriaus. Kondensatoriaus plokštelių plotas 0,5 m^2 ir jos atskirtos parafinuotu popieriumi, kurio storis lygus 1 mm.

20.55. Radiolokatorius spinduliuoja 10 cm ilgio radijo bangas. Koks yra spinduliuojamų virpesių dažnis?

20.56. Kokios talpos kondensatorių reikia prijungti prie 20 mH induktyvumo ritės, kad virpesių kontūro dažnis būtų suderintas su pirmosios Vilniaus radijo programos dažniu?

20.57. Virpesių kontūras susideda iš 1 mH induktyvumo ritės ir kondensatoriaus. Pastarąjį sudaro dvi skritulio formos plokštelės, kurių kiekvienos skersmuo 20 cm. Atstumas tarp plokštelių lygus 1 cm. Dielektrikas – oras. Apskaičiuokite kontūro skleidžiamos elektromagnetinės bangos ilgį.

20.58. Kontūre sužadinti savieji virpesiai. Didžiausias kondensatoriaus krūvis lygus 1 μC, amplitudinė srovės vertė 10 A. Apskaičiuokite kontūre sužadintos elektromagnetinės bangos ilgį.

20.59. Radijo imtuvas priima 25 m bangas. Kiek kartų turi pakisti imtuvo virpesių kontūro kondensatoriaus talpa, kad juo būtų galima priimti 50 m ilgio bangas?

20.60. Radijo imtuvas nustatytas priimti 25 m ilgio bangas. Kiek kartų ir kaip reikia pakeisti atstumą tarp plokščiojo kondensatoriaus, įjungto į imtuvo virpesių kontūrą, plokščių, kad būtų galima priimti 200 m ilgio bangas?

20.61. Kokiu greičiu radijo bangos plinta koaksialiuoju (bendraašiu) kabeliu, kurio dielektrikas – polistirolas? Polistirolo santykinė magnetinė skvarba lygi 1, o santykinė dielektrinė skvarba 2,5.

20.62. Iš Talino į Vilnių, tarp kurių yra 600 km atstumas, vienu metu pasiunčiamas radijo signalas oru ir kabeliu su polistirolo dielektriku. Kiek laiko ilgiau signalas sklis kabeliu negu oru?

20.63. Apskaičiuokite tiesioginio matomumo zonos spindulį tarp perdavimo antenos, kurios aukštis 81 m, ir priėmimo antenos, kurios aukštis 16 m.

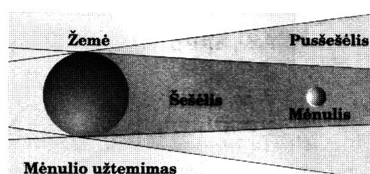
20.64. Per kiek laiko radiolokatoriaus signalas, pasiųstas iš Žemės į Mėnulį, sugrįš į Žemę? Atstumas tarp Žemės ir Mėnulio lygus 380 000 km.

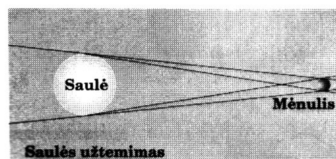
21. Šviesos atspindys ir lūžis

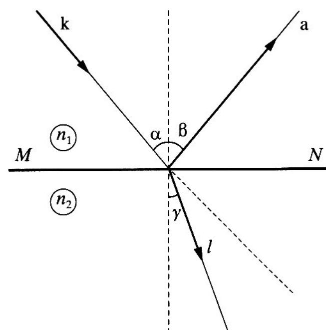
Absoliučiuoju šviesos lūžio rodikliu vadinamas fizikinis dydis, parodantis, kiek kartų šviesos greitis vakuume yra didesnis negu nagrinėjamoje terpėje: $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\varepsilon\mu} \geq 1$.

Santykinis šviesos lūžio rodiklis parodo, kiek kartų šviesos greitis pirmojoje terpėje skiriasi nuo jos greičio antrojoje terpėje: $n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$.

Terpė, kurios $n_{21} = 1$, vadinama vienalyte. Tokia terpe šviesa sklinda tiesiai, todėl susidaro visų neskaidrių kūnų šešėliai, t. y. sritys, į kurias nepatenka šviesos šaltinio energija, arba pusšešėliai, sritys, į kurias patenka tik vieno šaltinio šviesa.



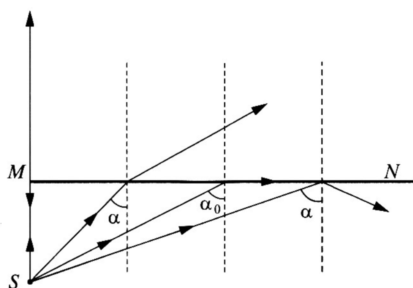




Kai kūnų (kliūčių) matmenys prilygsta šviesos bangos ilgiui, šviesa difraguoja. t. y. keičia sklidimo kryptį. Sklidimo kryptis taip pat kinta šviesai krintant į dviejų skirtingų terpių ribą: joje dalis šviesos atsispindi, likusioji jos dalis pereina ribą ir sklinda antrąja terpe. Didėjant kritimo kampui α, didėja atsispindėjusios energijos kiekis ir mažėja į antrąją terpę patekusios energijos kiekis.

Atspindžio ir lūžio dėsniai

1. Krintantysis (k) ir atsispindėjęs (a) spindulys bei kritimo taške iškeltas statmuo terpių ribai yra vienoje plokštumoje.
2. Atspindžio kampas β lygus kritimo kampui α.



1. Krintantysis (k) ir lūžęs (l) spindulys bei kritimo taške iškeltas statmuo terpių ribai yra vienoje plokštumoje.
2. Kritimo kampo α ir lūžio kampo γ sinusų santykis yra pastovus dydis, lygus santykiniam šviesos lūžio rodikliui: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{21}$.

Krintantysis ir lūžęs spinduliai yra apgręžiami. Išeidamas iš optiškai tankesnės terpes į optiškai retesnę terpę, šviesos spindulys nutolsta nuo statmens (išskyrus statmenąjį kritimą, kai $\alpha = 0$).

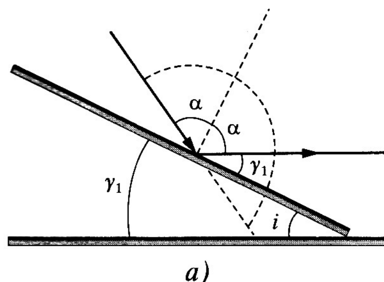
Kai kampas $\alpha = \alpha_0$, tinka sąlyga $\frac{\sin\alpha_0}{\sin 90^\circ} = n_{21}$; šviesa į optiškai retesnę terpę nepatenka, ji visiškai atsispindi. α_0 – visiškojo atspindžio kampas. Visiškasis atspindys vyksta tada, kai $\alpha \geq \alpha_0$.

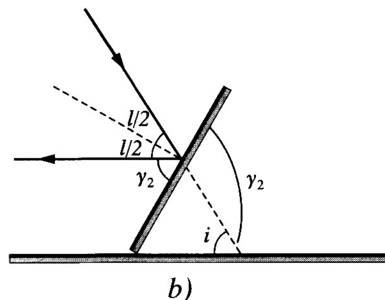
21.1 pavyzdys

Kampas tarp krintančiojo siauro spindulių pluoštelio ir stalo plokštumos $i = 48°$. Kokiu kampu reikia pastatyti plokščiąjį veidrodį, kad pluoštelis taptų horizontalus?

$i = 48°$

γ –?





21.1 pav.

Sprendimas

Pakeisti pluoštelio kryptį veidrodžiu galima dviem būdais. Jie parodyti 21.1 paveikslo *a* ir *b* dalyse. Spindulių eiga žinoma.

Kampo tarp jų pusiaukampinė yra statmuo veidrodžiui.

Pažymime kampus ir parašome atitinkamas lygybes:

$180° = i + 2\alpha$; $90° = \alpha + \gamma_1$; $90° = \frac{i}{2} + \gamma_2$.

Iš šių lygčių gauname: $\gamma_1 = \frac{i}{2} = 24°$; $\gamma_2 = 90° - \frac{i}{2} = 66°$.

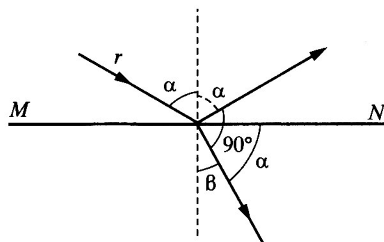
Atsakymas. Kad pluoštelis taptų horizontalus, veidrodį reikia pastatyti 24° arba 66° kampu.

21.2 pavyzdys

Kam lygus spindulio kritimo kampas, jei atsispindėjęs spindulys statmenas lūžusiajam? Santykinis lūžio rodiklis 1,6.

$n = 1{,}6$

α – ?



21.2 pav.

Sprendimas

Kritimo kampui apskaičiuoti taikome lūžio dėsnio sampratą, kad santykinis lūžio rodiklis yra lygus $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ **(1)**.

Iš 21.2 paveikslo nustatome lūžio kampą β: $\sin\beta = \sin(90° - \alpha) = \cos\alpha$ **(2)**. **2** išraišką įrašę į **1** lygtį gauname: $n = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\alpha$. Iš pastarosios lygties kritimo kampas $\alpha = \mathrm{arctg} n = 58°$.

Atsakymas. Spindulio kritimo kampas lygus 58°.

21.3* pavyzdys

Šviesos lūžio deimante absoliutusis rodiklis lygus 2,42, o stikle – 1,50. Nustatykite šių medžiagų sluoksnių storių santykį, kai šviesa juos pereina per tą patį laiką.

$n_1 = 2,42$
$n_2 = 1,50$

$\frac{l_2}{l_1} - ?$

Sprendimas

Deimantas ir stiklas yra vienalytės medžiagos, todėl šviesa jomis sklinda pastoviu greičiu.

Vadinasi, galime parašyti: $v_1 = \frac{l_1}{t}$ ir $v_2 = \frac{l_2}{t}$. Iš šių lygčių išplaukia, kad $\frac{l_2}{l} = \frac{v_2}{v_1}$ (**1**). Žinome, kad šviesos greičių santykis skirtingose terpėse yra atvirkščiai proporcingas jų absoliučiųjų rodiklių santykiui: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n}$ (**2**). **2** lygtį įrašę į **1**, gauname, kad $\frac{l_2}{l_1} = \frac{n_1}{n_2}$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame šį santykį:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{2,42}{1,5} = 1,61.$$

Atsakymas. Deimanto ir stiklo storių santykis lygus 1,61.

21.4* pavyzdys

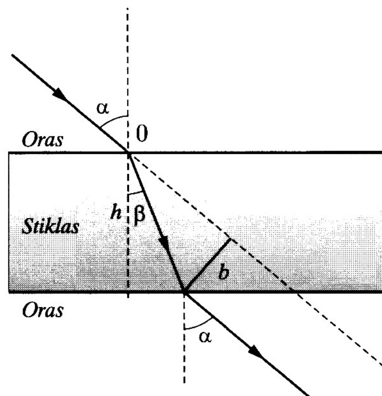
Kam lygus plokštelės storis, jei ją perėjęs šviesos spindulys pasislinko 2 cm atstumu? Plokštelės šviesos lūžio rodiklis lygus 1,7, o $\sin\alpha = 0,8$.

$b = 2$ cm $= 0,02$ m
$\sin\alpha = 0,8$
$n = 1,7$

$h - ?$

Sprendimas

Plokštelę perėjęs šviesos spindulys lygiagretus su kritusiuoju į ją spinduliu (21.3 pav.). Todėl plokštelės storis apskaičiuojamas pagal lygtį $h = OB \cos\beta$ (**1**). Iš 21.3 paveikslo matome, kad $OB = \frac{b}{\sin(\alpha - \beta)}$ (**2**). Taikome šviesos lūžio dėsnį, pagal kurį $n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$ (**3**).



21.3 pav.

Matematiškai pertvarkę **1**, **2** ir **3** lygtis, gauname:

$$h = \frac{b\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha}}{\sin\alpha\left(\sqrt{n^2 - \sin^2\alpha} - \sqrt{1 - \sin^2\alpha}\right)}.$$ Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame plokštelės storį:

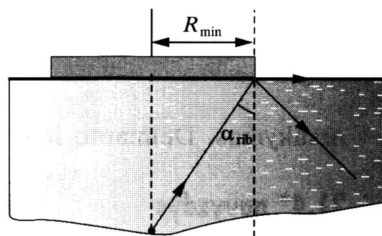
$$h = \frac{0{,}02\ \text{m}\sqrt{(1{,}7)^2 - (0{,}8)^2}}{0{,}8\left(\sqrt{(1{,}7)^2 - (0{,}8)^2} - \sqrt{1 - (0{,}8)^2}\right)} \approx 0{,}042\ \text{m}.$$

Atsakymas. Plokštelės storis apytiksliai lygus 4,2 cm.

21.5* pavyzdys

Taškinis šviesos šaltinis yra baseino, kurio gylis 3 m, dugne. Koks turi būti minimalus plūduriuojančio neskaidraus uždangalo spindulys, kad šaltinis, stebint baseiną iš viršaus, nebūtų pastebimas? Šviesos lūžio vandenyje rodiklis 1,33.

$h = 3$ m
$n = 1{,}33$
R_{min} – ?



21.4 pav.

Sprendimas

Šviesos šaltinis bus nepastebimas, kai iš jo sklisdama šviesa visiškai atsispindės nuo vandens – oro ribos.

Iš 21.4 paveikslo matome, kad minimalus uždangalo spindulys išreiškiamas lygtimi $\frac{R_{min}}{h} = \text{tg}\alpha_{rib}$. Esant visiškajam atspindžiui, $\sin\alpha_{rib} = \frac{1}{n}$. Iš šių lygčių gauname, kad $R_{min} = \frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį: $R_{min} = \frac{3\ \text{m}}{\sqrt{(1{,}33)^2 - 1}} = 3{,}6\ \text{m}$.

Atsakymas. Plūduriuojančio neskaidraus uždangalo spindulys turi būti lygus 3,6 m.

21.1. Apskaičiuokite šešėlio skersmenį, gaunamą apšvietus 10 cm rutuliuką, jeigu žinoma, kad atstumas nuo rutuliuko centro iki šviesos šaltinio lygus 50 cm, o nuo rutuliuko centro iki ekrano, kuriame susidaro jo šešėlis, – 1 m.

21.2. Medis, apšviestas Saulės spindulių, meta 25 m ilgio šešėlį, o vertikaliai įkaltas 75 cm kuolas – 125 cm ilgio šešėlį. Apskaičiuokite medžio aukštį.

21.3. Berniukas, žiūrėdamas į upę nuo tilto, nustatė, kad jos gylis lygus 2 m. Koks tikrasis upės gylis?

21.4. Norima apšviesti šulinio dugną, nukreipiant į jį Saulės spindulius. Kaip reikia padėti plokščiąjį veidrodį, kai Saulės spinduliai į Žemės paviršių krinta 60° kampu?

21.5. Saulės spinduliai į Žemės paviršių krinta 60° kampu. Kokiu kampu horizonto atžvilgiu reikia padėti plokščiąjį veidrodį, kad atsispindėję spinduliai sklistų horizontalia kryptimi?

21.6. Žmogus artėja prie plokščiojo veidrodžio 1 m/s greičiu. Kokiu greičiu nuo žmogaus reikia tolinti veidrodį, kad atstumas tarp žmogaus ir jo atvaizdo nesikeistų?

21.7. Atstumas tarp daikto ir plokščiojo veidrodžio 20 cm. Kokiu atstumu pasislinks daikto atvaizdas, jei daiktą patrauksime 10 cm nuo veidrodžio?

21.8.* Prieš veidrodį esantis nedidelis daiktas juda vertikaliai 3 m/s greičiu, o veidrodis slenka horizontalia kryptimi 4 m/s greičiu. Kokiu greičiu juda daikto atvaizdas? Atskaitos kūnu pasirinkite Žemę.

21.9. Lūžęs šviesos spindulys statmenas atsispindėjusiam. Nustatykite santykinį lūžio rodiklį, jei $\sin\alpha = 0{,}8$.

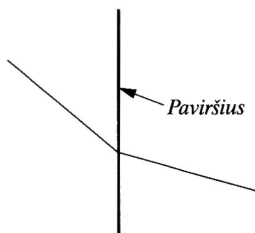
21.10. Kokiu kampu pakrypsta šviesos spindulys, pereidamas iš stiklo į orą, kai kritimo kampas lygus 30°?

21.11. Kaip reikia pastatyti plokščiuosius veidrodžius, kad jie šviesos spindulį pakreiptų 90° kampu? 180° kampu? Kaip paslinkti spindulį lygiagrečiai nekeičiant jo sklidimo krypties arba nukreipiant jį priešinga kryptimi?

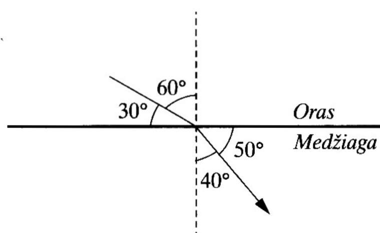
21.12. Kada šviesos spinduliai nelūždami pereina iš vienos skaidrios terpės į kitą? Atsakymą pagrįskite.

21.13. Oru sklindantis šviesos spindulys krinta į stiklą 30° kampu. Stiklo lūžio rodiklis 1,57. Kokį kampą su pradine kryptimi sudaro šis spindulys išeidamas iš stiklo į orą?

21.14. Šviesos spindulys pereina iš oro į stiklą (21.5 pav.). Kur yra stiklas: kairėje paviršiaus pusėje ar dešinėje? Atsakymą išsamiai paaiškinkite.



21.5 pav.



21.6 pav.

21.15. Apskaičiuokite medžiagos lūžio rodiklį, atsižvelgdami į tai, kaip šviesa lūžta, pereidama iš oro į medžiagą (21.6 pav.).

21.16. Šviesa sklinda iš vandens į gintarą. Šių medžiagų santykinis lūžio rodiklis yra 1,165. Apskaičiuokite gintaro absoliutųjį lūžio rodiklį.

21.17. Kokiu kampu į plokščią ledo paviršių turi kristi šviesos spindulys, kad lūžęs spindulys su atsispindėjusiuoju sudarytų statųjį kampą?

21.18. 60° kampu krintantis spindulys iš dalies atsispindi nuo plokštelės, kurios storis 0,2 m, paviršiaus. Raskite perėjusio spindulio poslinkį ir atstumą tarp spindulių, atsispindėjusių nuo abiejų paviršių. Šviesos lūžio rodiklis 1,5.

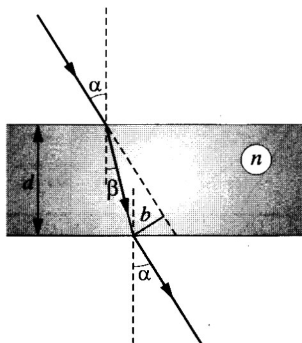
21.19. Šviesos spindulys krinta statmenai į veidrodį. Kokį kampą tas spindulys sudaro su pradine kryptimi, pasukus veidrodį 20° kampu?

21.20. Šviesos spindulys krinta 50° kampu į 4 cm storio stiklo plokštelę. Apskaičiuokite: a) stiklu sklindančio spindulio kelio ilgį l; b) atstumą d tarp kritusio spindulio tęsinio ir išėjusio iš plokštės spindulio.

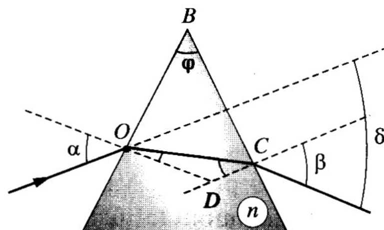
21.21. Šviesos spindulys krinta iš oro į gretasienį glicerino sluoksnį. Raskite glicerino sluoksnio storį, kai spindulio kritimo kampas 45°, poslinkis 0,03 cm ir glicerino lūžio rodiklis 1,47.

21.22. Pro stiklinę gretasienę plokštelę praėjusio šviesos spindulio poslinkis lygus 3 cm. Koks yra plokštelės storis, kai spindulio kritimo į plokštelę kampas lygus 60°, o stiklo lūžio rodiklis 1,5?

22. Šviesos sklidimas lygiagrečių sienelių plokštele ir prizme. Vaizdų susidarymas lęšiuose

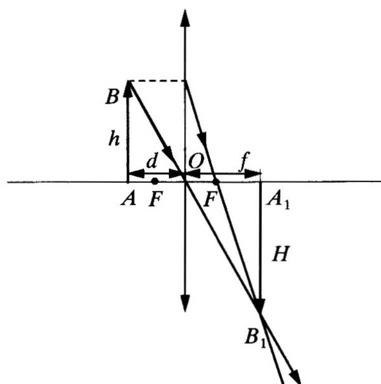


$$b = \frac{d\sin(\alpha - \beta)}{\cos\beta}.$$



$\delta = \alpha + \beta - \varphi$; φ – prizmės laužiamasis kampas.
$\delta = \varphi(n-1)$; δ – nuokrypio kampas.
α – kritimo kampas.
β – lūžio kampas.

LĘŠIAI. PLONOJO LĘŠIO FORMULĖ



d – atstumas nuo daikto iki lęšio,
f – atstumas nuo lęšio iki vaizdo,
$OF = F$ – lęšio židinio nuotolis,
R_1, R_2 – lęšio paviršiaus kreivumo spinduliai,
n – santykinis lūžio rodiklis.

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right);$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Dydis, atvirkščias lęšio židinio nuotoliui F, vadinamas lęšio laužiamąja geba D:
$D = \frac{1}{F}$; $[D] = \text{m}^{-1} = \text{D}$ (dioptrija)
Dydis, lygus vaizdo linijinių matmenų H santykiui su daikto linijiniais matmenimis h, vadinamas lęšio tiesinio didinimo koeficientu Γ: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$; čia H – vaizdo linijiniai matmenys; h – daikto linijiniai matmenys.

Plonųjų lęšių sistemos (lęšiai suglausti) laužiamoji geba lygi kiekvieno lęšio laužiamųjų gebų sumai: $D = D_1 + D_2 + ... + D_n$.

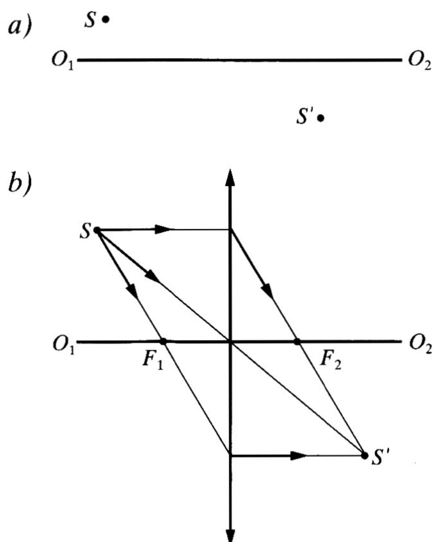
22.1 pavyzdys

22.1 paveikslo *a* dalyje pavaizduota lęšio pagrindinė optinė ašis, taškas S ir jo atvaizdas S'. Nustatykite, kokiu lęšiu gautas atvaizdas, kur yra lęšis ir kur yra jo židiniai.

Sprendimas

Taškas ir jo atvaizdas yra skirtingose pagrindinės optinės ašies pusėse. Vadinasi, atvaizdas gautas glaudžiamuoju lęšiu, kurio optinis centras O yra tiesių O_1O_2 ir SS' susikirtimo taškas. Taigi brėžiame glaudžiamąjį lęšį statmenai jo pagrindinei optinei ašiai.

Židinių padėtį nustatome, žinodami per juos sklindančių spindulių SF_1S' ir SF_2S' eigą (22.1 pav., *b*).



22.1 pav.

22.2 pavyzdys

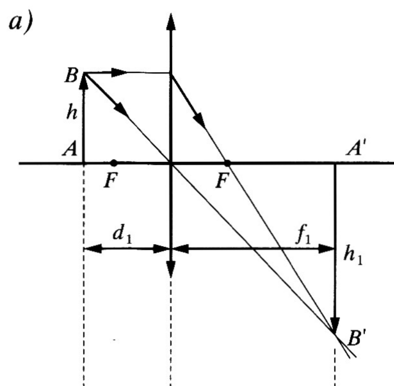
Glaudžiamuoju lęšiu gauto atvaizdo tiesiniai matmenys yra du kartus didesni už daikto matmenis. Pastūmus lęšį 0,36 cm arčiau ekrano, atvaizdo matmenys du kartus sumažėja. Apskaičiuokite lęšio židinio nuotolį.

$$\frac{h_1}{h} = k_1 = 2$$

$$\frac{h_2}{h} = k_2 = 0,5$$

$$\Delta d = 0,36\ \text{m}$$

F – ?

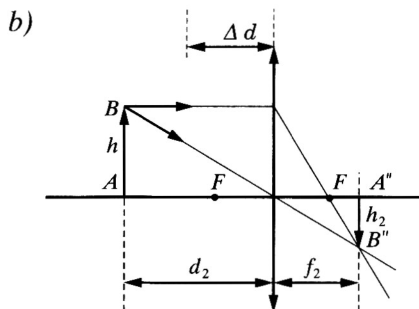


Sprendimas

Abiem atvejams braižome daikto atvaizdus (22.2 pav.) ir taikome plonojo lęšio lygtį:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{f_1}$ ir $\frac{1}{F} = \frac{1}{d_2} + \frac{1}{f_2}$ **(1)**. Žinodami lęšio didinimo koeficientus $k_1 = \frac{f_1}{d_1}$ ir $k_2 = \frac{f_2}{d_2}$, galime **1** formules perrašyti taip:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d_1}\left(1 + \frac{1}{k_1}\right) \text{ ir } \frac{1}{F} = \frac{1}{d_2}\left(1 + \frac{1}{k_2}\right) \ \textbf{(2)}.$$



22.2 pav.

Be to, dar žinome, kad $d_2 - d_1 = \Delta d$ (3). **2** ir **3** lygčių sistemas matematiškai pertvarkę, gauname: $F = \Delta d \frac{k_1 k_2}{k_1 - k_2}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame lęšio židinio nuotolį: $F = 0{,}36\ \text{m}\frac{2 \cdot 0{,}5}{2 - 0{,}5} = 0{,}24\ \text{m}$.

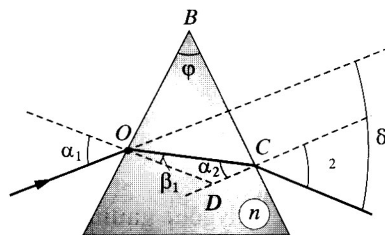
Atsakymas. Lęšio židinio nuotolis lygus 0,24 m.

22.3* pavyzdys

Šviesos spindulys 36° kampu krinta į kvarco prizmę. Prizmės laužiamasis kampas 40°. Apskaičiuokite išeinančio iš prizmės spindulio lūžio ir nuokrypio kampus. Šviesos lūžio kvarco stikle rodiklis 1,54. Kam lygus minimalus nuokrypio prizmėje kampas?

$\alpha_1 = 36°$
$\varphi = 40°$
$n = 1{,}54$

β_2 – ? δ – ? δ_{min} – ?



22.3 pav.

Sprendimas

Šviesos spindulio sklidimas prizmėje pavaizduotas 22.3 paveiksle. Spindulio lūžio kampą β_2 rasime taikydami lūžio dėsnį: $\frac{\sin\alpha_2}{\sin\beta_2} = n$ **(1)**. Kampą α_2 apskaičiuosime remdamiesi kampų sumos lygtimis trikampiui OCD ir keturkampiui $OBCD$: $\beta_1 + \alpha_2 + \gamma = 180°$ ir $\varphi + 2 \cdot 90° + \gamma = 360°$. Iš čia $\alpha_2 = \varphi - \beta_1$ **(2)**. Krintančiojo spindulio lūžio kampą apskaičiuojame pagal lūžio dėsnį: $\frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta_1} = n$ **(3)**. Iš **1**, **2**, **3** lygčių gauname, kad

$$\beta_2 = \arcsin\left[n \sin\left(\varphi - \arcsin\frac{\sin\alpha_1}{n}\right)\right].$$

Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame ieškomą dydį: $\beta_2 = \arcsin\left[1{,}54 \sin\left(40° - \arcsin\frac{\sin 36°}{1{,}54}\right)\right] = 27{,}4°$.

Spindulio nuokrypio kampą randame taip:

$\delta = \alpha_1 + \beta_2 - \varphi$; $\delta = 36° + 27{,}4° - 40° = 23{,}4°$.

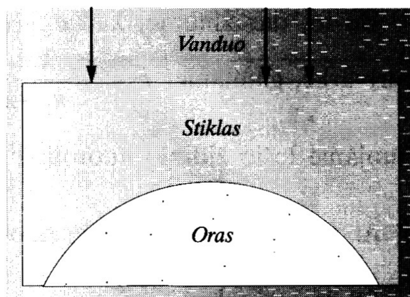
Apskaičiuojame minimalų nuokrypio kampą:

$\delta_{min} = \varphi(n - 1)$; $\delta_{min} = 40°(1{,}54 - 1) = 21{,}6°$.

Atsakymas. Išeinančio iš prizmės spindulio lūžio kampas lygus 27,4°, o nuokrypio kampai – 23,4° ir 21,6°.

22.4* pavyzdys

Apskaičiuokite 22.4 paveiksle pavaizduotos optinės sistemos židinio nuotolį. Stiklinio lęšio kreivumo spindulys 0,15 m.



22.4 pav.

$R = 0{,}15$ m	$n_{H_2O} = 0{,}15$
	$n_1 = 15$
	$n_2 = 1$
$F - ?$	

Sprendimas

Sistemos židinio nuotolį F rasime taikydami laužiamosios gebos formulę $D = D_1 + D_2$, arba $\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2}$ (**1**), čia F_1 – stiklinio lęšio židinio nuotolis, o F_2 – orinio lęšio židinio nuotolis. Kiekvieno lęšio židinio nuotolį išreiškiame naudodamiesi lęšio parametrais n ir R: $\frac{1}{F_1} = \left(\frac{n_1}{n_{H_2O}} - 1\right)\left(\frac{1}{\infty} - \frac{1}{R}\right)$; $\frac{1}{F_2} = \left(\frac{n_2}{n_{H_2O}} - 1\right)\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty}\right)$ (**2**).

Iš **1** ir **2** lygčių gauname, kad $F = R\frac{n_{H_2O}}{n_2 - n_1}$. Į pastarąją lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame ieškomą dydį:

$$F = 0{,}15\,\text{m}\frac{1{,}33}{1{,}0 - 1{,}5} = -0{,}4\,\text{m}.$$

Atsakymas. Lęšių sistemos židinio nuotolis lygus 0,4 m. Minuso ženklas rodo, kad ši lęšių sistema spindulius sklaido.

22.5 pavyzdys

Berniukas be akinių skaito knygą, laikydamas ją 16 cm atstumu nuo akių. Apskaičiuokite jo akinių laužiamąją gebą.

$d = 16$ cm $= 0{,}16$ m
$D - ?$

Sprendimas

Normalios akies geriausio matymo nuotolis lygus $d_0 = 0{,}25$ m.

Berniuko akiai šis nuotolis mažesnis už d_0. Todėl jis nešioja akinius tokios laužiamosios gebos, kad pakaktų akies trūkumui ištaisyti.

Akinių laužiamąją gebą rasime iš sistemos „akis–akiniai“ laužiamosios gebos lygties: $\frac{1}{d_0} + \frac{1}{f} = D_{akies} + D_{akinių}$ (**1**); čia f – akies gylis (atstumas nuo lęšiuko iki tinklainės, kurioje susidaro atvaizdas). Akies laužiamoji geba apibūdinama lygtimi $D_{akies} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ (**2**).

Matematiškai pertvarkę **1** ir **2** lygtis, gauname: $D_{\text{akinių}} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d}$.

Į pastarąją lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame ieškomą dydį: $D_{\text{akinių}} = \frac{1}{0{,}25\ \text{m}} - \frac{1}{0{,}16\ \text{m}} = -2{,}25\ \text{m}^{-1} = -2{,}25\ \text{D}$.

Atsakymas. Akinių laužiamoji geba lygi – 2,25 D.

22.1. Kodėl augalų nepatariama laistyti karštą saulėtą dieną? Atsakymą pagrįskite.

22.2. Ant lapo su spausdintu tekstu pateko lašas skaidrių klijų. Kodėl pro lašą matomos raidės atrodo didesnės už gretimas? Atsakymą pagrįskite.

22.3. Kur reikia pastatyti daiktą, kad gautume natūralaus dydžio neapverstą jo atvaizdą? Atsakymą pagrįskite brėžiniu.

22.4. Kokiu lęšiu gaunamas didžiausias didinimas? Kokiu atstumu nuo lęšio tada reikia padėti daiktą? Atsakymą pagrįskite brėžiniu.

22.5. Abipus iškilo plonojo lęšio židinio nuotolis lygus 75 cm. Kokia to lęšio laužiamoji geba?

22.6. Akinių laužiamoji geba 5 D; –3,5 D. Apskaičiuokite jų stiklų židinio nuotolį.

22.7. Daiktas yra 15 cm atstumu prieš glaudžiamąjį lęšį, o atvaizdas – 30 cm atstumu kitapus lęšio. Apskaičiuokite lęšio židinio nuotolį ir jo didinimą.

22.8. Daiktas nutolęs nuo abipus iškilo lęšio 24 cm atstumu, o jo atvaizdas – 0,4 m atstumu. Apskaičiuokite lęšio laužiamąją gebą, židinio nuotolį ir didinimą.

22.9. Kokiu atstumu nuo glaudžiamojo lęšio yra daiktas, jeigu lęšio židinio nuotolis 0,25 m, o daikto menamasis atvaizdas yra plokštumoje, esančioje 1 m atstumu nuo lęšio?

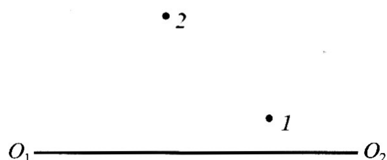
22.10. Lęšiu gaunamas tikrasis, 2 kartus padidintas, daikto atvaizdas. Atstumas nuo lęšio iki atvaizdo lygus 24 cm. Nustatykite lęšio židinio nuotolį.

22.11. Lęšiu gaunamas menamasis 4,5 karto padidintas daikto atvaizdas. Daiktas nutolęs nuo lęšio 3,8 cm. Kokia yra lęšio laužiamoji geba?

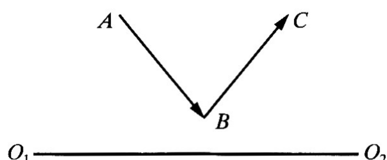
22.12. 200 cm atstumu nuo sienos stovi deganti žvakė. Tarp jų, už 40 cm nuo žvakės, padėjus glaudžiamąjį lęšį, ant sienos susidaro ryškus žvakės atvaizdas. Apskaičiuokite lęšio pagrindinio židinio nuotolį. Nustatykite, koks gaunamas daikto atvaizdas.

22.13. Prieš lęšį 12,5 cm atstumu esančios liniuotės skalės milimetrinės padalos atvaizdas ekrane yra 2,4 cm ilgio. Apskaičiuokite lęšio židinio nuotolį.

22.14. 22.5 paveiksle nubrėžta lęšio pagrindinė optinė ašis O_1O_2, taškas ir jo atvaizdas. Grafiškai nustatykite, kuriuo lęšiu – glaudžiamuoju ar sklaidomuoju – gautas atvaizdas. Kurioje vietoje yra lęšis ir kur yra jo židiniai?



22.5 pav.



22.6 pav.

22.15. 22.6 paveiksle pavaizduota lęšio pagrindinė optinė ašis O_1O_2 ir spindulio *ABC* eiga. Paaiškinkite šią eigą ir grafiškai nustatykite lęšio bei jo židinių padėtį.

22.16. Atstumas tarp daikto ir ekrano nekinta. Perstūmus lęšį, gaunami du ryškūs atvaizdai, kurių aukštis h_1 ir h_2. Apskaičiuokite daikto aukštį.

22.17. Šviesos spindulys, krintantis į lygiagrečių sienelių plokštelę 50° kampu, išeina iš jos pasislinkęs 2 cm. Plokštelės medžiagos lūžio rodiklis 1,7. Apskaičiuokite plokštelės storį.

22.18. Vienspalvės šviesos spindulys išeina iš prizmės kampu, lygiu kritimo kampui. Jo nuokrypio kampas 15°. Prizmės laužiamasis kampas 48°. Iš kokios medžiagos ji pagaminta?

22.19. Vienspalvės šviesos spindulys statmenai krinta į lygiakraštę prizmę. Lūžio rodiklis 1,5. Apskaičiuokite spindulio nuokrypio kampą.

22.20. Vienspalvė šviesa pereina trikampę prizmę, kurios laužiamasis kampas $\varphi = 60°$, o šviesos lūžio rodiklis 1,7. Spinduliai prizmėje lygiagretūs jos pagrindui. Apskaičiuokite spindulio nuokrypio kampą.

22.21. Abipus išgaubto lęšio optinė geba ore lygi 5 D, o vandenyje – 1,5 D. Apskaičiuokite medžiagos, iš kurios pagamintas lęšis, absoliutųjį lūžio rodiklį.

22.22. Apskaičiuokite plokščiai įgaubto lęšio optinę gebą, jeigu žinoma, kad jis pagamintas iš medžiagos, kurios absoliutusis lūžio rodiklis lygus 1,56, o įgaubto paviršiaus kreivumo spindulys lygus 40 cm.

22.23. Kokiu atstumu nuo abipus išgaubto 2,5 D optinės gebos lęšio reikia pastatyti daiktą, kad jo atvaizdas susidarytų 2 m atstumu nuo šio lęšio?

22.24. Į trikampę prizmę 40° kampu krinta šviesos spindulys. Prizmės laužiamasis kampas lygus 30°, o medžiagos, iš kurios pagaminta prizmė, absoliutusis lūžio rodiklis – 1,6. Kokiu kampu šviesos spindulys išeis iš prizmės ir koks bus jo nuokrypio kampas?

22.25. Vienspalvės šviesos spindulys statmenai krinta į šoninę prizmės sienelę ir joje nukrypsta 30° kampu. Prizmės stiklo absoliutusis lūžio rodiklis lygus 1,6. Apskaičiuokite prizmės laužiamąjį kampą.

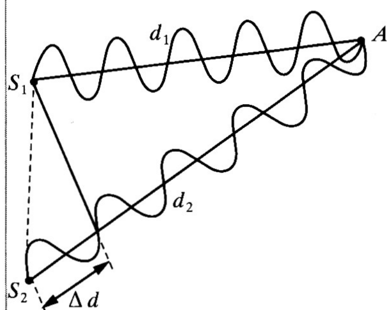
22.26.* Prizmės laužiamasis kampas lygus 45°, o jos stiklo absoliutusis lūžio rodiklis – 1,6. Kokiu didžiausiu kampu gali į šią prizmę kristi šviesos spindulys, kad, jam išeinant iš prizmės, susidarytų visiškasis šviesos atspindys?

23. Šviesos reiškiniai

Dispersija vadinama šviesos lūžio rodiklio priklausomybė nuo virpesių **dažnio** (arba bangos ilgio). $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$.

Balto spindulio struktūra yra sudėtinga. Skirtingų spalvų spinduliai skiriasi lūžimo laipsniu. (Labiausiai lūžta violetiniai spinduliai, mažiausiai – raudoni.)
Žmogaus akis reaguoja į šviesos dažnį, o ne į bangos ilgį.

Interferencija – tai tokia dviejų koherentinių bangų sudėtis, kai įvairiuose erdvės taškuose pastebimas nevienodas atstojamasis šviesos intensyvumas.

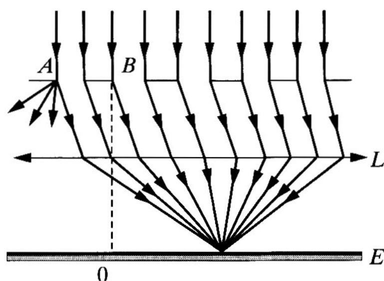


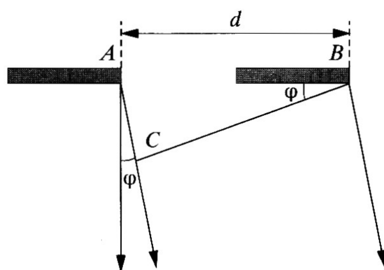
Koherentinėmis vadinamos bangos, kurios yra vienodo dažnio, pastovaus bangos eigos skirtumo ir sklinda sinchroniškai (sutampa laiko atžvilgiu).

Šviesa sustiprėja, kai bangų eigos skirtumas lygus sveikam bangų ilgių skaičiui: $\Delta d = 2k\frac{\lambda}{2}$, čia $k = 0, 1, 2, \ldots$.

Šviesa susilpnėja, kai bangų eigos skirtumas lygus nelyginiam pusbangių skaičiui: $\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$, čia $k = 0, 1, 2, \ldots$.

Difrakcija vadinamos bangų užlinkimas už kliūties.
Difrakcija stebima tuomet, kai kliūties tiesiniai matmenys daug mažesni arba lygūs krintančios šviesos bangos ilgiui arba kai tenkinama sąlyga $\lambda = \frac{d^2}{4l}$.
Difrakcinės gardelės formulė $d \sin\varphi = k\lambda$,
čia l – atstumas už kliūties (arba kliūties matmuo), d – difrakcinės gardelės konstanta (arba kliūties matmuo), $k = 0, 1 ,2, \ldots, \lambda$ – šviesos bangos ilgis.
Kuo aukštesnė spektro eilė k, tuo platesnis spektras.

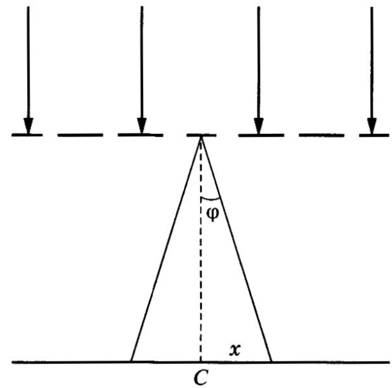




Poliarizacija – tai reiškinys, kai šviesos bangos elektrinio lauko vektorius svyruoja tik vienoje plokštumoje.

23.1 pavyzdys

Difrakcinės gardelės kiekviename ilgio milimetre įrėžta po 100 brūkšnelių. Apskaičiuokite, kokio ilgio šviesos bangos apšviečia gardelę, jei antroji šviesi juostelė nutolusi nuo centrinės juostelės ekrane 12 cm (23.1 pav.). Atstumas nuo difrakcinės gardelės iki ekrano 1,5 m.



23.1 pav.

$d = 0{,}01$ mm $= 1 \cdot 10^{-5}$ m
$l = 1{,}5$ m
$x = 12 \cdot 10^{-2}$ m
$k = 2$

λ – ?

Sprendimas

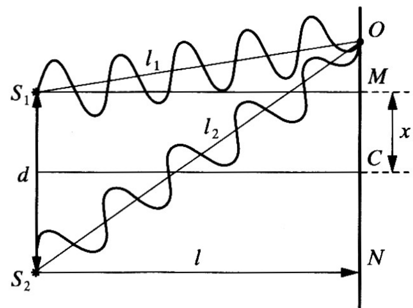
Šviesos bangos ilgį rasime, taikydami difrakcinio maksimumo sąlygą: $d \sin\varphi = k\lambda$.

Difrakcijos kampas φ mažas, todėl $\sin\varphi = \mathrm{tg}\varphi = \frac{x}{l}$. Šias lygtis matematiškai pertvarkę, gauname: $\lambda = \frac{xd}{kl}$; $\lambda = \frac{12 \cdot 10^{-2}\,\text{m} \cdot 10^{-5}\,\text{m}}{2 \cdot 1{,}5\,\text{m}} = 4 \cdot 10^{-7}\,\text{m} = 400\,\text{nm}$.

Atsakymas. Difrakcinę gardelę apšviečia 400 nm bangos ilgio šviesa.

23.2* pavyzdys

Du koherentiniai šviesos šaltiniai S_1 ir S_2 yra nutolę vienas nuo kito 2 mm atstumu ir skleidžia $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ m ilgio šviesos bangas. Nustatykite šių bangų interferencijos rezultatą ekrano taške O, jeigu ekranas nutolęs nuo šaltinių 2 m atstumu (23.2 pav.). Atstumas OC lygus 3 mm.



23.2 pav.

$d = 2$ mm $2 \cdot 10^{-3}$ m
$\lambda = 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ m
$x = OC = 3$ mm $= 3 \cdot 10^{-3}$ m
$l = 2$ m

k – ?

Sprendimas

Interferencijos rezultatas priklauso nuo bangų optinės eigos skirtumo, t. y. nuo to, kuri sąlyga – pavaizduota 23.2 paveiksle ar 23.1 paveiksle – yra tenkinama.

Apskaičiuokime bangų eigos skirtumą. Kadangi bangos sklinda oru, tai $n_1 = n_2 = 1$ ir $\Delta d = l_2 - l_1$. Iš stačiųjų trikampių S_1OM ir S_2ON matyti, kad

$$d_2^2 - d_1^2 = \left[l^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2\right] - \left[l^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2\right] \text{ arba } (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) = 2xd.$$

Kadangi x ir d maži, palyginti su l, tai $d_1 + d_2 \approx 2l$. Vadinasi, ieškomas šviesos bangų eigos skirtumas Δd yra lygus $d_2 - d_1 = \frac{xd}{l}$. Šios lygties abi puses padalijame iš šviesos bangos ilgio ir, įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, gauname:

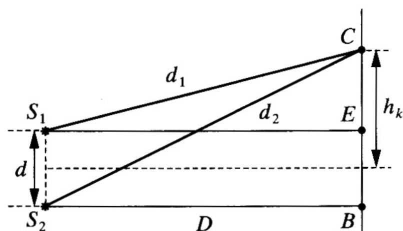
$$k = \frac{d_2 - d_1}{\lambda} = \frac{xd}{\lambda l}; \quad k = \frac{3 \cdot 10^{-3}\,\text{m} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{0{,}5 \cdot 10^{-6}\,\text{m} \cdot 2\,\text{m}} = 6.$$

Atsakymas. Kadangi $k = 6$ (sveikasis skaičius), tai bangų eigos skirtumas tenkina bangų stiprinimo (maksimumo) sąlygą.

23.3 pavyzdys

Jungo difrakcijos bandymuose atstumas tarp plyšių 0,07 mm, o atstumas nuo dvigubo plyšio iki ekrano 2 m. Apšvietus prietaisą žalia šviesa, atstumas tarp gretimų šviesių difrakcinio vaizdo juostų buvo 16 mm. Remdamiesi šiais duomenimis, apskaičiuokite šviesos bangos ilgį.

$d = 0{,}07$ mm $= 0{,}07 \cdot 10^{-3}$ m
$D = 2$ m
$\Delta h = 16$ mm $= 16 \cdot 10^{-3}$ m
λ – ?



23.3 pav.

Sprendimas

Ekrano taške C gausime apšviestumo maksimumą (23.3 pav.), jeigu bus patenkinta sąlyga $d_2 - d_1 = k\lambda$; čia $k = 0, 1, 2, \ldots$ – sveikieji skaičiai. Iš pateikto paveikslo matome, kad trikampiams S_2CB ir S_1CE galime pritaikyti Pitagoro teoremą:

$$d_2^2 = D^2 + \left(h_k + \frac{d}{2}\right)^2 \text{ ir } d_1^2 = D^2 + \left(h_k - \frac{d}{2}\right)^2.$$

Gavome lygčių sistemą, kurią sprendžiame atimties būdu – iš pirmosios lygties atimame antrąją: $d_2^2 - d_1^2 = 2h_k d$. Išskleidžiame šios lygties kairiąją pusę: $(d_1 + d_2)(d_2 - d_1) = 2h_k d$.

Iš uždavinio sąlygos matome, kad $d << D$, todėl $d_1 + d_2 \approx 2D$. Vadinasi, $d_2 - d_1 \approx \frac{h_k d}{D}$. Iš pastarosios formulės galime išreikšti k-tosios šviesios juostos atstumą nuo ekrano centro: $h_k \approx \frac{k\lambda D}{d}$.

Atstumą tarp gretimų juostų apibūdiname lygtimi $\Delta h = h_{k+1} - h_k \approx \frac{\lambda D}{d}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame šviesos bangos ilgį λ ir, įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame jos didumą: $\lambda \approx \frac{d \cdot \Delta h}{D}$; $\lambda \approx \frac{0{,}07 \cdot 10^{-3}\,\text{m} \cdot 16 \cdot 10^{-3}\,\text{m}}{2\,\text{m}} \approx 5{,}6 \cdot 10^{-7}$ m.

Atsakymas. Jungo difrakcijos bandymuose panaudota $5{,}6 \cdot 10^{-7}$ m bangos ilgio šviesa.

23.1. Ar pakinta pereinančio iš vakuumo į kokią nors medžiagą šviesos spindulio bangos ilgis ir dažnis? Kodėl? Atsakymą pagrįskite.

23.2. Žalias spindulys pereina iš oro į vandenį. Ar pakinta jo dažnis, bangos ilgis, spalva? Atsakymą pagrįskite.

23.3. Žmogus junta šviesą kaip elektromagnetines bangas, kurių dažnis – nuo $4 \cdot 10^{14}$ Hz iki $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz. Kokį bangos ilgių intervalą užima regimoji šviesa?

23.4. Į žalio stiklo butelį pripilta raudono rašalo. Kokios jis atrodo spalvos? Atsakymą pagrįskite.

23.5. Difraguodamas ir lūždamas šviesos spindulys keičia sklidimo kryptį. Kuo gi skiriasi difrakcijos ir lūžio reiškiniai?

23.6. Ar matysime balto spindulio erdvinį išsiskaidymą, jeigu jis kris iš oro į stiklinę plokštelę: a) įstrižai; b) statmenai? Atsakymus pagrįskite.

23.7. Kaip atsiranda spalva: mėlyno dangaus; melsvo stiklo; mėlyno popieriaus? Atsakymus pagrįskite.

23.8. Kodėl pasklidusio ant vandens žibalo plonas sluoksnis „nusidažo" vaivorykštės spalvų juostomis?

23.9. Nurodykite, kuriais atvejais stebime šviesos difrakciją: a) žiūrėdami į elektros lemputę pro kaproninį audinį, matome spalvotus ratilus; b) po lietaus grožimės vaivorykšte; c) matome spalvotus ratilus apie Saulę arba Mėnulį; d) stebime vabzdžių, kurie prieš šviesą atrodo spalvoti.

23.10. Ar garso bangos ore gali būti poliarizuotos? Kodėl? Atsakymą išsamiai paaiškinkite.

23.11. Kuo iš esmės skiriasi šviesos ir garso bangos? Atsakymą išsamiai paaiškinkite.

23.12. Jeigu teatre atsistosime už kolonos, artisto nematysime, bet jo balsą girdėsime. Kodėl?

23.13. Kiek 600 THz dažnio vienspalvės spinduliuotės bangų telpa 1 m atkarpoje?

23.14. Į žmogaus akį patenka elektromagnetiniai spinduliai, kurių dažnis $9{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz. Ar jie sukelia šviesos pojūtį? Koks yra tų spindulių bangos ilgis vakuume?

23.15. Kokiu greičiu šviesa sklinda vandenyje, kai 440 THz dažnio šviesos bangos ilgis lygus 0,51 μm?

23.16. Žara – raudona, o dangus – mėlynas. Kuriuos spindulius labiau išsklaido atmosfera? Kodėl?

23.17. Du koherentiniai 0,4 μm bangos ilgio šviesos pluoštai susikerta tam tikrame taške, kuriame jų bangos eigos skirtumas lygus 0,5 μm. Ką matysime tame taške: virpesių maksimumą ar minimumą?

23.18. Į vieną erdvės tašką ateinančių koherentinių šviesos bangų optinės eigos skirtumas lygus 1200 mm. Sustiprėja ar susilpnėja tame taške šviesa, kurios bangos ilgis lygus 760 mm? 600 nm? 500 nm?

23.19.* Ekrane interferuoja 520 nm bangos ilgio vienspalvė šviesa, sklindanti iš dviejų menamųjų šaltinių. 4 cm ilgio atkarpoje telpa 8,5 juostos. Apskaičiuokite atstumą tarp šviesos šaltinių, jeigu nuo ekrano jie nutolę 2,75 m.

23.20.* Du koherentiniai šviesos šaltiniai vienas nuo kito nutolę 0,24 mm, o nuo ekrano 2,5 m. Ekrane matomos pakaitomis išsidėsčiusios tamsios ir šviesios interferencinės juostos. Išmatavus paaiškėjo, kad 5 cm ilgio atkarpoje telpa 10,5 tokių juostų. Kokio bangos ilgio šviesa krinta į ekraną?

23.21.* Apšvietus dvi tos pačios medžiagos plonas plėveles statmenais paviršiui baltos šviesos spinduliais, viena jų atrodo raudona, kita – mėlyna. Kuri plėvelė storesnė? Atsakymą pagrįskite.

23.22. Apšvietus difrakcinę gardelę 656 nm bangos ilgio šviesa, antros eilės spektras matomas 15° kampu. Apskaičiuokite gardelės konstantą.

23.23. Atstumas tarp patefono plokštelės griovelių lygus $\frac{1}{40}$ mm, o difrakciniai spektrai matomi 2° kampu. Apskaičiuokite raudonos šviesos bangos ilgį

23.24. Į difrakcinę gardelę, kurios konstanta $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ cm, statmenai krinta vienspalvė banga. Kampas tarp antrosios ir trečiosios eilės spektrų lygus 2°30′. Apskaičiuokite krintančios bangos ilgį.

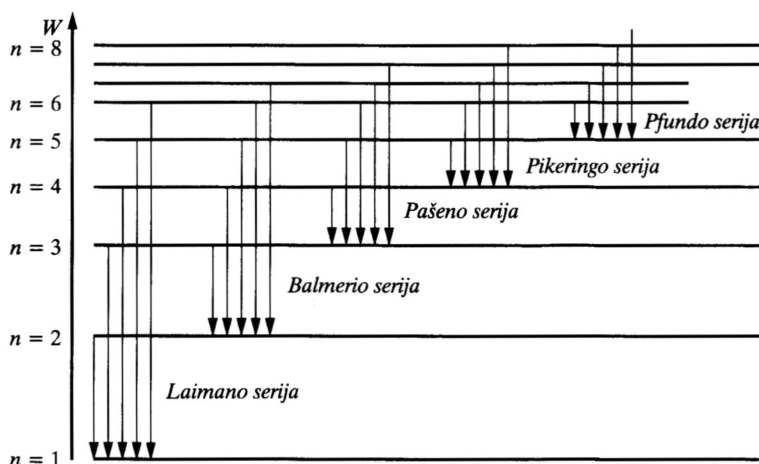
23.25.* Kokio bangos ilgio linija iš trečiosios eilės difrakcinio spektro sutampa su ketvirtosios eilės spektro linija, kurios bangos ilgis lygus 490 nm?

24. Šviesos spinduliuotė (emisija) ir sugertis (absorbcija)

Kvantiniai Boro postulatai

Atominė sistema gali būti tik ypatingų nuostoviųjų (stacionariųjų), arba kvantinių, būsenų, kurių kiekvieną atitinka tam tikra energija W_n. Nuostoviosios būsenos atomas nespinduliuoja.

Atomas spinduliuoja tada, kai pereina iš vienos nuostoviosios būsenos su didesne energija W_k į kitą būseną su mažesne energija W_n. Išspinduliuoto fotono energija lygi nuostoviųjų būsenų energijų skirtumui: $hf = W_k - W_n$ (h – Planko konstanta).



Orbitos spindulys $r_n = 4\pi\varepsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{me^2}$; $r_1 = \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2}{me^2}$; $r_1 = 5 \cdot 10^{-11}$ m; $r_n = n^2 r_1$.

Orbitos energija $W_n = -\frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^4}{2\hbar^2 n^2}$; $W_1 = -\frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^2}{2\hbar^2}$; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$.

$$W_1 = -2{,}168 \cdot 10^{-18}\ \text{J} = -13{,}55\ \text{eV}; \quad W_n = \frac{W_1}{n^2}.$$

Spinduliuojamos (sugeriamos) bangos dažnis

$$f_{k,n} = \frac{W_k - W_n}{h} = \frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^4}{4\pi\hbar^3}\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right) = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2}\right);$$

$$R = \frac{me^4}{(4\pi\varepsilon_0)^2 4\pi\hbar^3} \approx 3{,}27 \cdot 10^{15}\ \text{s}^{-1}.$$

Fotono energija $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$; fotono masė $m = \frac{hf}{c^2}$;

fotono judesio kiekis $p = mc = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$.

Spinduliavimo rūšys	Šiluminė spinduliuotė		Elektroliuminescencija Katodinė liuminescencija Fotoliuminescencija Chemiliuminescencija
Fotoefektas			Fotoefektu vadinamas elektronų išplėšimas iš medžiagos, veikiant ją šviesa. Fotoefekto dėsniai: 1. Per sekundę išplėštų iš metalo paviršiaus elektronų skaičius tiesiogiai proporcingas per tą patį laiką sugertai šviesos bangos energijai. 2. Didžiausia fotoelektronų kinetinė energija tiesiškai didėja didėjant šviesos dažniui ir nepriklauso nuo šviesos intensyvumo. Einšteino formulė fotoefektui: $hf = A + \frac{mv^2}{2}$. Fotoefektas pastebimas, kai $hf \geq A$; čia f – šviesos bangos dažnis; A – elektronų išlaisvinimo darbas iš metalo paviršiaus; m – elektrono masė, v – elektrono greitis; q – elektrono krūvis; U_{st} – stabdymo įtampa. $\frac{mv_{max}^2}{2} = qU_{st}$. 1 eV = 1,6 · 10^{-19} J.
Spektrų rūšys	Spinduliuotės (emisijos)	Ištisinis	Tai – įkaitusių kietųjų kūnų, skysčių ir pakankamai tankių dujų spinduliavimo spektras. Jis susidaro ir leidžiant Saulės šviesą pro trikampę prizmę. Šiam spektrui būdingas tolygus perėjimas nuo vieno dažnio bangų prie kitų. Pagal šį spektrą neįmanoma nustatyti šviečiančio kūno medžiagos cheminės sudėties.
		Linijinis	Tai – įkaitintų nedidelio slėgio atominių dujų skleidžiamų spindulių spektras. Izoliuoti atomai spinduliuoja griežtai apibrėžtų ilgių bangas. Kiekvienam cheminiam elementui būdingas vis kitoks linijinis spektras. Vadinasi, pagal jį galima atpažinti įvairiose medžiagose esančius elementus.
		Juostinis	Tai – molekulinių dujų skleidžiamų spindulių spektras. Jis gaunamas liepsnoje švytint dujoms. Jį sudaro atskiros spalvotos juostos, perskirtos tamsių tarpų. Geros skiriamosios gebos prietaisais nustatoma, kad kiekviena juosta susideda iš daugybės linijų, išsidėsčiusių arti viena kitos.
	Sugerties (absorbcijos)		Tamsios linijos ištisinio spektro fone – sugerties linijos – sudaro sugerties spektrą. Dujos labiausiai sugeria kaip tik tų bangų ilgių šviesą, kurią jos pačios įkaitusios skleidžia.

24.1 pavyzdys

Cezio plokštelė apšviečiama ultravioletine šviesa, kurios bangos ilgis 200 nm. Koks yra fotoelektronų greitis? Nustatykite fotoefekto raudonąją ribą.

$\lambda = 200$ nm $= 200 \cdot 10^{-9}$ m	$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Js
$A_{Cs} = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ J	$c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s
v_{max} – ? λ_{max} – ?	

Sprendimas

Remiamės Einšteino lygtimi fotoefektui

$$h\frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv^2_{max}}{2}.$$

Matematiškai pertvarkę šią lygtį, gauname elektronų greičio išraišką:

$v_{max} = \sqrt{\dfrac{2\left(h\dfrac{c}{\lambda} - A\right)}{m}}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame fotoelektronų greitį:

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2\left(6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}\dfrac{3 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{200 \cdot 10^{-9}\,\text{m}} - 3{,}2 \cdot 10^{-19}\,\text{J}\right)10^{-19}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}}} = 1{,}2 \cdot 10^{6}\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 1{,}2\,\frac{\text{Mm}}{\text{s}}.$$

Fotoefekto raudonąją ribą atitinkantį šviesos bangos ilgį randame iš samprotavimų, kad tai pati ilgiausia banga, kuriai esant dar vyksta fotoefektas, t. y.:

$$h\frac{c}{\lambda_{max}} = A; \quad \lambda_{max} = \frac{hc}{A}. \quad \lambda_{max} = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 3 \cdot 10^{8}\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{3{,}2 \cdot 10^{-19}\,\text{J}} = 620 \cdot 10^{-9}\,\text{m} = 620\,\text{nm}.$$

Atsakymas. Didžiausias fotoelektronų greitis lygus 1,2 Mn/s, o fotoefekto raudonoji riba yra 620 nm.

24.2* pavyzdys

Kai šviesos virpesių dažnis $2 \cdot 10^{15}$ Hz, fotoelektronų stabdymo įtampa lygi 7 V, o kai dažnis $4 \cdot 10^{15}$ Hz, tai stabdymo įtampa – 15 V. Apskaičiuokite Planko konstantą.

$f_1 = 2 \cdot 10^{15}$ Hz
$U'_{st} = 7$ V
$f_2 = 4 \cdot 10^{15}$ Hz
$U''_{st} = 15$ V
h – ?

Sprendimas

Einšteino lygtį fotoefektui užrašome abiem atvejams:

$hf_1 = A + qU'_{st}$ ir $hf_2 = A + qU''_{st}$, nes $\dfrac{mv^2_{max}}{2} = qU_{st}$. Iš parašytų lygčių randame Planko konstantą: $h = \dfrac{q(U''_{st} - U'_{st})}{f_2 - f_1}$;

$$h = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}(15\,\text{V} - 7\,\text{V})}{4 \cdot 10^{15}\,\text{Hz} - 2 \cdot 10^{15}\,\text{Hz}} = 6{,}4 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}.$$

Atsakymas. Planko konstanta lygi $6{,}4 \cdot 10^{-34}$ Js.

24.3* pavyzdys

Kiek 1,5 nm bangos ilgio rentgeno spindulių fotonų turi kristi per 1 s į 2,4 cm^2 ploto absoliučiai juodą paviršių, kad susidarytų toks pat slėgis, kokį sudaro Saulės spinduliai, krisdami į absoliučiai juodą paviršių, esantį Žemės orbitoje? Kaip pasikeis atsakymas, jeigu kalbėsime apie Saulės spindulius, krintančius į veidrodinį paviršių, kuris juos visiškai atspindi?

$Y_C = 1370\ \text{J/m}^2\text{s}$ (Saulės konstanta)
$\lambda = 1{,}5\text{nm} = 1{,}5 \cdot 10^{-9}\text{m}$
$\Delta t = 1\ \text{s}$
$S = 2{,}4\ \text{cm}^2 = 2{,}4 \cdot 10^{-4}\text{m}^2$
$c = 3 \cdot 10^8\ \text{m/s}$
$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}\ \text{Js}$

N_1 – ? N_2 – ?

Sprendimas

Rentgeno spindulių ir Saulės šviesos slėgis turi būti vienodas, todėl $\frac{Y_C}{c} = \frac{Y_R}{c}$, nes šviesos slėgis išreiškiamas formule $p = \frac{Y}{c}$, kurioje Y – spinduliavimo intensyvumas, t. y. $Y = \frac{E}{S\Delta t}$. Žinodami Saulės konstantą Y_C, iš pastarosios lygybės galime rasti spindulių energiją E, po to – fotonų skaičių N, nes $E = E_1 N$ (čia E_1 – rentgeno spindulių fotono energija, apskaičiuojama iš Planko formulės $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$). Slėgis į veidrodinį paviršių yra dvigubai didesnis negu į absoliučiai juodą, todėl antruoju atveju ieškomasis fotonų skaičius turi būti dvigubai didesnis. Taip yra todėl, kad fotonams atsispindint paviršius gauna papildomą impulsą. Remiamės intensyvumo lygybe $Y_C = \frac{E}{S\Delta t}$ arba $Y_C = \frac{E_1 N_1}{S\Delta t}$. Įrašę E_1 išraišką iš Planko formulės, išreiškiame N_1:

$Y_C = \frac{hcN_1}{\lambda S\Delta t}$; $N_1 = \frac{Y_C \lambda S\Delta t}{hc}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame N_1:

$$N_1 = \frac{1370\frac{\text{J}}{\text{m}^2\text{s}} \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-9}\text{m} \cdot 2{,}4 \cdot 10^{-4}\text{m}^2 \cdot 1\,\text{s}}{6{,}62 \cdot 10^{-34}\text{Js} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2{,}5 \cdot 10^{15}.$$

Šviesos slėgis į veidrodinį paviršių išreiškiamas formule $p = \frac{2Y}{c}$, todėl $N_2 = 2N_1$. Vadinasi, $N_2 = 2 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{15} = 5 \cdot 10^{15}$.

Atsakymas. Pirmuoju atveju į paviršių kas sekundę turi kristi $2{,}5 \cdot 10^{15}$ fotonų, antruoju atveju – $5 \cdot 10^{15}$ fotonų.

24.4 pavyzdys

Rubino lazeris per vieną žybsnį išspinduliuoja šviesos kvantų, kurių bangos ilgis 694 nm. Žybsnis trunka $2 \cdot 10^{-3}$ s. Kokia yra vidutinė lazerio žybsnio galia?

$N = 2 \cdot 10^{19}$	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
$\lambda = 694$ nm $= 694 \cdot 10^{-9}$ m	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js
$\tau = 2 \cdot 10^{-3}$ s	
P – ?	

Sprendimas

Vieno lazerio žybsnio metu išspinduliuojama energija lygi $E = P\tau$; čia p – žybsnio galia. Šią energiją išsineša N kvantų, todėl $E = NE_1$; čia E_1 – vieno kvanto energija, $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$.

Taikome energijos tvermės dėsnį ir gauname: $P\tau = N\frac{hc}{\lambda}$. Iš pastarosios lygties išreiškiame žybsnio galią P: $P = N\frac{hc}{\lambda\tau}$. Įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame P: $P = 2 \cdot 10^{19} \cdot \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{694 \cdot 10^{-9}\,\text{m} \cdot 2 \cdot 10^{-3}\,\text{s}} = 2{,}9 \cdot 10^3\,\text{W} = 2{,}9\,\text{kW}.$

Atsakymas. Žybsnio galia lygi 2,9 kW.

24.5 pavyzdys

Apskaičiuokite infraraudonųjų spindulių ($f = 10^{12}$ Hz) fotono energiją, masę ir impulsą.

$f = 10^{12}$ Hz	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s
	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js
E – ? m – ? p – ?	

Sprendimas

Fotono energijai rasti taikome formulę $E = hf$. Įrašę fizikinių dydžių vertes, apskaičiuojame E: $E = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js $\cdot\, 10^{12}$ Hz $= 6{,}63 \cdot 10^{-22}$ J.

Fotono masei apskaičiuoti taikome tokią išraišką: $E = mc^2 = hf$. Iš pastarosios lygties gauname, kad $m = \frac{hf}{c^2}$.

Į šią lygtį įrašome fizikinių dydžių skaitines vertes ir apskaičiuojame rezultatą:

$$m = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 10^{12}\,\text{Hz}}{\left(3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2} = 7{,}4 \cdot 10^{-39}\,\text{kg}.$$

Fotono impulsas apibūdinamas lygtimi $p = mc = \frac{hf}{c^2}c = \frac{hf}{c}$. Įrašome fizikinių dydžių vertes ir apskaičiuojame fotono impulso dydį:

$$p = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 10^{12}\,\text{Hz}}{3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} = 2{,}2 \cdot 10^{-30}\,\frac{\text{kgm}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Fotono energija lygi $6{,}63 \cdot 10^{-22}$ J; masė – $7{,}4 \cdot 10^{-39}$ kg; impulsas – $2{,}2 \cdot 10^{-30}\,\frac{\text{kgm}}{\text{s}}$.

24.6* pavyzdys

Keliais laipsniais sušils per 1 s 0,2 kg masės vandens lašelis, sugerdamas kas sekundę po 10^{10} fotonų, kurių bangos ilgis $7{,}5 \cdot 10^{-7}$ m?

$m = 0{,}2$ kg
$N = 10^{10}$
$\tau = 1$ s
$\lambda = 7{,}5 \cdot 10^{-7}$ m
$c_v = 4{,}2 \cdot 10^3$ J/kgK

ΔT – ?

Sprendimas

Sugertosios šviesos energija lygi $E = NE_1$; čia $E_1 = \frac{hc}{\lambda}$ – vieno fotono energija.

Energija, reikalinga vandeniui sušildyti, apibūdinama lygtimi $Q = mc_v \Delta T$; čia c_v – vandens savitoji šiluma.

Pagal energijos tvermės dėsnį $E = Q$.

Vadinasi $Nh\frac{c}{\lambda} = mc_v\Delta T$. Iš pastarosios lygties išreiškiame ΔT: $\Delta T = N\frac{hc}{\lambda c_v m}$. Į šią lygtį įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, sužinome, keliais laipsniais sušilo vandens lašelis: $$\Delta T = \frac{10^{10} \cdot 6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{7{,}5 \cdot 10^{-7}\,\text{m} \cdot 4{,}2 \cdot 10^3\,\frac{\text{J}}{\text{kgK}} \cdot 2 \cdot 10^{-4}\,\text{kg}} = 3{,}2 \cdot 10^{-9}\,\text{K}.$$

Atsakymas. Vandens lašelis sušilo $3{,}2 \cdot 10^{-9}$ K.

24.7* pavyzdys

Toli nuo kitų kūnų esantis varinis rutuliukas švitinamas $2 \cdot 10^{-7}$ m bangos ilgio vienspalviais spinduliais. Elektronų išlaisvinimo iš vario darbas – 4,5 eV. Iki kokio didžiausio potencialo įsielektrins rutuliukas?

$\lambda = 2 \cdot 10^{-7}$ m	$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$A = 4{,}5$ eV $= 7{,}2 \cdot 10^{-19}$ J	$h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Js
	$c = 3 \cdot 10^8$ m/s

φ_{max} – ?

Sprendimas

Šviesos spindulių išlaisvinti fotoelektronai nuneša neigiamą krūvį, todėl rutuliukas įsielektrina teigiamai. Rutuliuko elektrinis laukas stabdo išlekiančius elektronus. Didžiausias potencialas, iki kurio gali įsielektrinti varinis rutuliukas, priklauso nuo didžiausios išlekiančių elektronų potencinės energijos: $e\varphi_{max} = E_k$ (**1**).

Fotoelektronų kinetinę energiją rasime iš Einšteino lygties fotoefektui $\frac{hc}{\lambda} = A + E_k$; iš čia $E_k = \frac{hc}{\lambda} - A$ (**2**). Matematiškai pertvarkę **1** ir **2** lygtis, gauname: $e\varphi_{max} = \frac{hc}{\lambda} - A$. Iš pastarosios lygties išreiškiame φ_{max}: $\varphi_{max} = \frac{h\frac{c}{\lambda} - A}{e} = \frac{hc}{e\lambda} - \frac{A}{e}$.

Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame rutuliuko potencialą:

$$\varphi_{max} = \frac{6{,}63 \cdot 10^{-34}\,\text{Js} \cdot 3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \cdot 10^{-7}\,\text{m} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}} - \frac{7{,}2 \cdot 10^{-19}\,\text{J}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}} = 1{,}7\,\text{V}.$$

Atsakymas. Rutuliukas įsielektrins iki 1,7 V potencialo.

24.1. Cinko sulfidas skleidžia žalią liuminescensinę šviesą. Ar galima sukelti cinko sulfido liuminescensiją švitinant jį: a) raudona šviesa; b) violetine šviesa? Kodėl?

24.2. Elektromagnetinės bangos ilgis $5 \cdot 10^{-7}$m. Apskaičiuokite jos kvanto energiją.

24.3. Kiek kartų raudonų spindulių (760 μm) kvanto energija yra mažesnė už violetinių spindulių (400 μm) kvanto energiją?

24.4. Žmogaus akis mato 0,5 μm bangos ilgio šviesą, jeigu jos spindulys, krintantis į akį, kas sekundę neša ne mažiau kaip $2,1 \cdot 10^{-17}$ J energijos. Kiek fotonų kas sekundę krinta į akies vyzdį?

24.5. Akies tinklainės jautrumas geltonai šviesai (600 nm) lygus $1,7 \cdot 10^{-18}$ W. Kiek fotonų kas sekundę turi patekti į tinklainę, kad pajustume šviesą?

24.6. Kiek fotonų kas sekundę išspinduliuoja 100 W galios elektros lempa, kai vidutinis jų bangos ilgis 600 nm, o spinduliavimo naudingumo koeficientas 3,3 %?

24.7.* Kokia gali būti rentgeno vamzdžio įtampa, jeigu pati kiečiausia spinduliuotė (t. y. mažesnio bangos ilgio) jo rentgeno spektre yra 10^{19} Hz dažnio?

24.8. Rentgeno spinduliuotės veikiama, plokštelė įgijo 1,5 kV potencialą. Nustatykite: a) plokštelės krūvio ženklą; b) rentgeno spinduliuotės bangos ilgį; c) ar pakis bandymo rezultatai, jeigu plokštelė bus nikelininė arba volframinė. Kodėl?

24.9.* Kuo aukštesnė įtampa suteikiama rentgeno vamzdžio elektrodams, tuo kietesnę spinduliuotę jis skleidžia. Kodėl? Ar pakis rentgeno spinduliuotės kietumas, jeigu, esant pastoviai anodo įtampai, bus keičiamas katodo siūlo kaitinimas? Kodėl?

24.10. Rentgeno vamzdis, kurio elektrodų įtampa 50 kV, o srovės stipris 2 mA, kas sekundę išspinduliuoja $5 \cdot 10^{12}$ fotonų. Laikydami, kad jų vidutinis bangos ilgis lygus 0,1 nm, apskaičiuokite vamzdžio naudingumo koeficientą, t. y. nustatykite, kiek procentų vartojamos srovės galios sudaro rentgeno spinduliuotės galia.

24.11. Ar pakinta fotono, pereinančio iš vienos terpės į kitą, energija? Atsakymą pagrįskite.

24.12. Remdamiesi kvantine šviesos teorija, paaiškinkite: a) kodėl fotopopierius yra labai jautrus violetinei ir mėlynai, bet visiškai nejautrus oranžinei ir raudonai šviesai; b) kiek kartų reikia padidinti ekspozicijos trukmę, sumažinus aparato diafragmą (jos angą) 2 kartus?

24.13. Kodėl liuminescensinės šviesos dažnis visuomet esti mažesnis už sugertosios šviesos dažnį? Kaip tai suderinama su energijos tvermės dėsniu?

24.14. Raudonos šviesos ($2,7 \cdot 10^{-19}$ J) ir violetinės šviesos ($5 \cdot 10^{-19}$ J) fotono energiją išreikškite elektronvoltais.

24.15. Violetinių spindulių virpesių dažnis $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz, o raudonų – $4 \cdot 10^{14}$ Hz. Kiek violetinių spindulių fotonų energija didesnė už raudonų?

24.16. Spinduliuojamų fotonų energija $6,4 \cdot 10^{-19}$ J. Koks yra tos spinduliuotės dažnis ir bangos ilgis vakuume? Ar tokia spinduliuotė sukelia žmogui šviesos pojūtį? Kodėl?

24.17. Nustatykite energiją fotonų, atitinkančių regimosios spektro dalies ilgiausius (0,76 μm) ir trumpiausius (0,40 μm) spindulius.

24.18. Kokio ilgio elektromagnetinės bangos fotonų energija lygi $9.93 \cdot 10^{-19}$ J?

24.19. Kokiai rūšiai priskiriami spinduliai, kurių fotonų energija lygi $2 \cdot 10^{-17}$ J, $4 \cdot 10^{-19}$ J ir $3 \cdot 10^{-23}$ J?

24.20. Kiek kartų rentgeno spinduliuotės, kurios bangos ilgis 1 Å, fotonų energija didesnė už regimosios šviesos, kurios bangos ilgis 0,4 μm, fotonų energiją?

24.21. Du šaltiniai, kurių kiekvieno galia lygi 100 W, tolygiai skleidžia $3,9 \cdot 10^{14}$ Hz ir $2,5 \cdot 10^{17}$ Hz dažnio spindulius. Kokios energijos fotonus spinduliuoja šie šaltiniai? Kiek fotonų kiekvienas jų išspinduliuoja kas 1 s? Kurių spindulių ryškesnės banginės savybės, o kurių – kvantinės? Kodėl?

24.22. Radijo stotis dirba 3 m ilgio banga. Apskaičiuokite vieno jos fotono energiją ir kas sekundę išspinduliuojamų fotonų skaičių, kai spinduliavimo galia 10 W.

24.23. Fotonas turi tiek pat energijos, kiek ir elektronas, judėjęs 10^6 m/s pradiniu greičiu ir pagreitintas lauko, kurio potencialų skirtumas 4 V. Koks yra to fotono bangos ilgis?

24.24. Į metalo paviršių krinta spinduliai, kurių bangos ilgis 0,36 μm. Spindulių srauto galia 5 μW. Koks yra soties fotosrovės stipris, jeigu 5 % visų krintančių fotonų išmuša iš metalo elektronus?

24.25.* Kokiai temperatūrai esant molekulės šiluminio judėjimo vidutinė energija (tenkanti vienam laisvės laipsniui) lygi energijai fotono, kurio bangos ilgis 0,6 μm?

24.26.* 0,2 ml tūrio vandens lašas šyla sugerdamas 0,75 μm bangos ilgio šviesą, po 10^{10} fotonų per sekundę. Apskaičiuokite šilimo greitį.

24.27. Apskaičiuokite $6 \cdot 10^{14}$ Hz dažnio šviesos fotono masę.

24.28. Kokia yra rentgeno spinduliuotės, kurios bangos ilgis $2,5 \cdot 10^{-9}$ m, fotono masė?

24.29. Tam tikrų spindulių fotonų masė lygi elektrono rimties masei. Apskaičiuokite tų spindulių bangos ilgį ir dažnį.

24.30. Spinduliuojamos bangos ilgis 600 nm. Apskaičiuokite jos fotono judesio kiekį ir masę.

24.31. Fotono energija lygi $6 \cdot 10^{-19}$ J. Koks yra to fotono judesio kiekis?

24.32. Kokiu greičiu turi skrieti elektronas, kad turėtų tokį patį judesio kiekį kaip ir fotonas, atitinkantis $5,2 \cdot 10^{-7}$ m ilgio bangą?

24.33. Spinduliuojamų fotonų judesio kiekis $1,65 \cdot 10^{-23}$ kg m/s. Apskaičiuokite fotonų bangos ilgį ir dažnį.

24.34. Apšviestas geltonos spalvos šviesa (600 nm), vakuuminis fotoelementas įsikrauna iki 1,2 V potencialų skirtumo. Iki kokio potencialų skirtumo įsielektrins tas fotoelementas, apšviestas violetiniais spinduliais (400 nm)?

24.35. Atliekant Stoletovo bandymą, neigiamai įelektrinta cinko plokštelė švitinama vienspalve Voltos lanko šviesa, kurios bangos ilgis 324 nm. Iki kokio didžiausio potencialo įsielektrins plokštelė?

24.36. Į kiekvieną absoliučiai juodo paviršiaus kvadratinį centimetrą kas sekundę krinta $2,8 \cdot 10^{17}$ fotonų, kurių bangos ilgis 400 nm. Kokį slėgį jie sukelia?

24.37. 1,5 cm^2 ploto paviršius sugeria visą statmenai į jį krintančią vienspalvę šviesą, kurios bangos ilgis 663 nm. Nustatykite, kokį judesio kiekį įgyja paviršius, į kurį per 1 s nukrinta $2 \cdot 10^{18}$ fotonų. Kokį slėgį sukelia ši šviesa?

24.38. Į veidrodinį plokščią paviršių lygiagrečiu pluoštu krinta šviesa, kurios bangos ilgis 0,662 μm. Spindulių srautas lygus 0,6 W. Kokia jėga šviesa slegia tą paviršių ir kiek fotonų kas sekundę krinta į jį?

24.39.* Į 10 cm^2 ploto veidrodinį paviršių 45° kampu krinta šviesos spinduliai, kurių bangos ilgis 400 nm, 10^{18} fotonų per 1 s srautu. Koks yra tos šviesos slėgis į paviršių, kai atspindžio koeficientas lygus 0,75?

24.40. Plokščiasis veidrodis apšviestas 500 nm bangos ilgio šviesa. Kas sekundę į jos vienetinį paviršiaus plotą krinta $2 \cdot 10^{21}$ fotonų. Kokį slėgį jie sukelia?

24.41. 1 g masės dalelė juda 10 m/s greičiu. Koks yra jos de Broilio bangos ilgis? Ar galima bandymais nustatyti jos bangines savybes? Atsakymą pagrįskite.

24.42. Protonas skrieja $4{,}6 \cdot 10^4$ m/s greičiu. Kokio ilgio de Broilio banga jį atitinka?

24.43. Neutronų kinetinė energija 1 MeV. Koks yra jų de Broilio bangos ilgis?

24.44. Ar fotono poveikis medžiagai priklauso nuo: a) tos medžiagos atstumo iki spindulių šaltinio; b) šaltinio galios; c) spindulių dažnio? Atsakymus pagrįskite.

24.45. Kokį vaidmenį gamtoje atlieka fotosintezė?

24.46. Kodėl, ryškinant nuotraukas, fotolaboratorija būna apšviesta raudona šviesa?

24.47. Remdamiesi kvantine teorija, paaiškinkite, kodėl skiriasi įvairių šaltinių skleidžiamos šviesos stipris.

24.48. Remdamiesi kvantine teorija, paaiškinkite, kodėl nuo šaltinio tolstančio paviršiaus apšvieta mažėja.

24.49.* Saulės spinduliai kas sekundę atneša į kiekvieną statmeną jiems Žemės atmosferos ribos kvadratinį metrą $1{,}37 \cdot 10^3$ J energijos. Kiek energijos kiekvieną sekundę išspinduliuoja Saulė ir kiek masės ji dėl to netenka? Atstumą nuo Saulės iki Žemės laikykite lygiu $1{,}5 \cdot 10^{11}$ m.

24.50. Kokiu mažiausiu atstumu prie nejudančio sidabro branduolio gali priartėti α dalelė, turinti 0,5 MeV kinetinės energijos?

24.51. Kokiu greičiu elektronas skrieja vandenilio atomo orbita, kurios spindulys $0{,}5 \cdot 10^{-10}$ m? Palyginkite šį greitį su Žemės palydovo greičiu (8 km/s).

24.52.* Rezerfordo bandymuose α dalelės, kurių energija $8 \cdot 10^{-13}$ J, susiduria su vario branduoliais ir atšoka nuo jų, turėdamos $6{,}24 \cdot 10^{-13}$ J energijos. Apskaičiuokite vario branduolių ir α dalelių masės santykį.

24.53. Kokios energijos fotoną išspinduliuoja vandenilio atomas, jo elektronui pereinant iš tolimiausios orbitos į pirmąją, jeigu vandenilio linijiniame spektre mažiausias bangos ilgis 91,2 nm? Kas atsitiks vandenilio atomui, kai jo elektronas sugers dar daugiau energijos?

24.54. Nustatykite, kokio ilgio bangą išspinduliuoja vandenilio atomas, pereidamas iš vieno energijos lygmens į kitą. Energijų skirtumas lygus 1,892 eV.

24.55. Vykstant elektros išlydžiui kriptono-86 pripildytame vamzdelyje, spinduliuojami šviesos kvantai, kurie atitinka atomų būsenų energijų skirtumą $E_2 - E_1 = 3,278 \cdot 10^{-19}$ J. Nustatykite tų spindulių spalvą ir bangos ilgį.

24.56. Apšaudomas elektronų, kurių kinetinė energija 1,892 eV, vandenilis švyti. Kokios spalvos linija gaunama jo spektre?

24.57. Nuo ko priklauso vandenilio atomo spinduliuotės dažnis pagal Boro teoriją?

24.58. Kokios atomo būsenos vadinamos sužadintosiomis? Kuo jos skiriasi nuo normaliosios būsenos?

24.59. Kiek pakito vandenilio atomo energija, kai jis išspinduliavo fotoną, kurio bangos ilgis $4,86 \cdot 10^{-7}$ m?

24.60.* Koks bus elektrono greitis ir pagreitis vandenilio atomo pirmojoje Boro orbitoje?

24.61.* Kokiu dažniu ir kokiu periodu sukasi vandenilio atomo elektronas: a) pirmojoje Boro orbitoje; b) antrojoje Boro orbitoje?

24.62. Kiek kartų vandenilio atomo antrosios Boro orbitos spindulys didesnis už pirmosios orbitos spindulį?

24.63.* Kurioje Boro orbitoje vandenilio atomo elektronas skrieja didesniu greičiu? Kiek kartų šis greitis mažesnis už šviesos greitį vakuume?

24.64. Kiek energijos turi elektronas, skriejantis vandenilio atomo trečiąja Boro orbita?

24.65. Apšvitinto vandenilio atomo elektronas perėjo iš pirmosios orbitos į trečiąją, o grįždamas į pradinę būseną, iš pradžių perėjo iš trečiosios orbitos į antrąją, po to – iš antrosios į pirmąją. Apibūdinkite atomo sugertų ir išspinduliuotų kvantų energiją.

24.66. Kokios spektro linijos atsiranda sužadinus vandenilio atomą elektronais, kurių energija 14 eV? Atsakymą pagrįskite.

24.67. Kokio bangos ilgio spindulius skleidžia vandenilio atomai, kai jų elektronai peršoka: a) iš antrosios Boro orbitos į pirmąją; b) iš trečiosios orbitos į antrąją; c) iš ketvirtosios orbitos į trečiąją?

24.68. Kiek kartų ilgesnę bangą išspinduliuoja vandenilio atomas, jo elektronui peršokant iš trečiosios Boro orbitos į antrąją negu iš antrosios į pirmąją?

24.69. Nustatykite Balmerio serijos trumpiausios bangos ilgį.

24.70.* Elektronui peršokant iš tam tikros orbitos į antrąją, vandenilio atomas spinduliuoja šviesą, kurios bangos ilgis $4,34 \cdot 10^{-7}$ m. Koks yra pradinės elektrono orbitos numeris?

24.71. Pirmojoje Boro orbitoje esantis vandenilio atomo elektronas sugeria $4,8 \cdot 10^{15}$ Hz dažnio fotoną. Kokiu greičiu jis po to juda?

24.72.* Šviesa, kurią skleidžia išlydžio vamzdelis, krinta statmenai į difrakcinę gardelę. Jos konstanta $5 \cdot 10^{-4}$ cm. Iš kurios orbitos elektronas turi peršokti į antrąją orbitą, kad atitinkama linija penktosios eilės spektre būtų matoma 41° kampu?

24.73. Dėl kokios lazerio spindulių savybės pavyko jais „apčiupinėti“ Veneros, Marso, Jupiterio ir kitų planetų paviršių?

24.74. Kokia lazerio spindulių savybė taikoma skylutėms superkietuose metaluose ir deimantuose išdurti?

24.75. Gabalėlis radžio suvyniotas į popierių. Ar sulaikys popierius α, β ir γ spindulius? Atsakymus pagrįskite.

24.76. Skriejantį elektroną atitinka 0,18 nm ilgio banga. Apskaičiuokite jo greitį ir impulsą.

24.77. Natrio fotoefekto raudonąją ribą atitinka 530 nm bangos ilgis. Apskaičiuokite elektronų išlaisvinimo iš natrio darbą.

24.78. Elektronų išlaisvinimo iš aukso darbas 4,59 eV. Nustatykite fotoefekto raudonąją ribą.

24.79. Elektronų išlaisvinimo iš gyvsidabrio darbas 4,53 eV. Ar susidarys fotoefektas apšvietus gyvsidabrio paviršių regimąja šviesa?

24.80. Kokią didžiausią kinetinę energiją turi elektronai, išlekiantys iš kalio paviršiaus, apšviesto 345 nm bangos ilgio spinduliais? Elektronų išlaisvinimo iš kalio darbas 2,26 eV.

24.81. Apšvietus rubidį ultravioletiniais spinduliais, kurių bangos ilgis 317 nm, didžiausia išlekiančių elektronų kinetinė energija lygi $2{,}84 \cdot 10^{-19}$ J. Apskaičiuokite elektronų išlaisvinimo iš rubidžio darbą ir fotoefekto raudonąją ribą.

24.82. Į volframo paviršių krinta spinduliai, kurių bangos ilgis 220 nm. Kokiu didžiausiu greičiu išlekia iš jo elektronai, jeigu išlaisvinimo įtampa volframe 4,56 V?

24.83. Kokio bangos ilgio spinduliai turi kristi į stroncio paviršių, kad, vykstant fotoefektui, didžiausia elektronų kinetinė energija būtų $1{,}8 \cdot 10^{-19}$ J? Stroncio fotoefekto raudonoji riba 550 nm.

24.84. Elektronų išlaisvinimo iš kadmio darbas 4,08 eV. Kokio bangos ilgio spinduliais reikia apšviesti kadmio paviršių, kad, vykstant fotoefektui, didžiausias išlekiančių elektronų greitis būtų $7{,}2 \cdot 10^5$ m/s?

24.85.* Cezio fotoefekto raudonoji riba 620 nm. Apskaičiuokite fotoelektronų maksimalų greitį, kai šviesos bangos ilgis 400 nm.

24.86.* Apšviečiant metalo plokštelę du kartus (pirmą kartą šviesos bangos ilgis 350 nm, antrą kartą – 540 nm) išmušamų fotoelektronų maksimalūs greičiai skiriasi du kartus. Koks tai metalas?

24.87.* Kai metalo plokštelė apšviečiama $1{,}2 \cdot 10^{15}$ Hz dažnio šviesa, fotoelektronų stabdymo potencialas 3,1 V, o kai ji apšviečiama 125 nm bangos ilgio šviesa, – 8,1 V. Apskaičiuokite Planko konstantą.

24.88.* Apšvietus cezio plokštelę, fotoelektronų stabdymo įtampa lygi U'_{st}. Ta pačia šviesa apšvietus kito metalo plokštelę, fotoelektronų stabdymo įtampa lygi U''_{st}. Paaiškinkite, kaip iš šių duomenų nustatyti, koks tai metalas.

24.89.* Cinko plokštelė apšviečiama ultravioletine šviesa, kurios bangos ilgis 224 nm. Koks bus įsielektrinusios plokštelės potencialas? Elektronų išlaisvinimo darbas $6{,}6 \cdot 10^{-19}$ J.

24.90.* Laikydami Žemę absoliučiai juodu kūnu, apskaičiuokite Saulės spindulių slėgį į Žemės rutulį. Žemės spindulys lygus 6400 km.

25. Atomo ir branduolio fizika

Visi cheminiai elementai, pradedant 88-uoju, yra radioaktyvūs.

Radioaktyviojo skilimo dėsnis

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Poslinkio taisyklė

$$^{M}_{Z}X \to {}^{M-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\mathrm{He};$$
$$^{M}_{Z}X \to {}^{M}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e.$$

Planetinis atomo modelis

$A = Z + N$;
A – atomo masės skaičius;
Z – elemento eilės skaičius (protonų skaičius);
N – neutronų skaičius.

Atomo branduolio ryšio energija – tai energija, kuri reikalinga visiškai branduoliui suskaldyti į atskiras daleles.

$M_b < Zm_p + Nm_n$;
$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_b$;
$$\Delta M = \frac{\Delta E_r}{c^2}.$$

Zm_p – branduolį sudarančių protonų masė;
Nm_n – branduolį sudarančių neutronų masė;
M_b – branduolio rimties masė;
ΔM – masės defektas;
ΔE_r – branduolio ryšio energija.

Grandininė branduolinė reakcija

Grandinine branduoline reakcija vadinama tokia reakcija, kurią sukeliančios dalelės (neutronai) yra jos pačios produktai.

$^{239}_{92}\mathrm{U} \to {}^{239}_{93}\mathrm{Np} + {}^{0}_{-1}e$; $^{239}_{93}\mathrm{Np} \to {}^{239}_{94}\mathrm{Pu} + {}^{0}_{-1}e$.

Mažiausia urano masė, kuriai esant dar gali vykti grandininė reakcija, vadinama kritine mase.

Urano $^{235}_{92}\mathrm{U}$ kritinė masė lygi maždaug 50 kg (tai – tik 20 cm skersmens rutulys), plutonio $^{239}_{94}\mathrm{Pu}$ – 10 kg.

Valdomos urano branduolio dalijimosi grandininės reakcijos sukeliamos branduoliniuose reaktoriuose.

Erdvė, kurioje vyksta grandininė reakcija, vadinama reaktoriaus aktyviąja zona.

Neutronai, kurių greitis artimas šiluminio judėjimo greičiui (apie $2 \cdot 10^3$ m/s), vadinami lėtaisiais, arba šiluminiais.

Atominis reaktorius, garo turbina ir elektros generatorius sudaro atominės elektrinės energinę sistemą.

Termobranduolinė reakcija

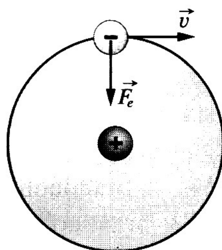
Termobranduolinė reakcija – tai lengvųjų branduolių sintezės aukštoje temperatūroje reakcija: ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n + 17{,}5\ \text{MeV}$.
Kad deuteris ir tritis jungtųsi į helį, jų mišinys turi įkaisti iki milijonų laipsnių. Tokia temperatūra Žemės sąlygomis susidaro tik sprogstant atominei bombai. Vandenilio atsargos Žemėje yra neišsenkamos, todėl termobranduolinės sintezės panaudojimas taikiems tikslams yra vienas pagrindinių šiuolaikinio mokslo bei technikos uždavinių. Tokią aukštą temperatūrą galima sukurti naudojant galingą elektros iškrovą. Svarbiausia kliūtis yra tai, jog dešimčių milijonų laipsnių temperatūroje staiga išgaruoja visos medžiagos. Vadinasi, plazmą būtina bent dalį sekundės sulaikyti, neleidžiant jai plėstis ir susiliesti su reaktoriaus sienelėmis.

25.1 pavyzdys

Remdamiesi Boro teorija, apskaičiuokite vandenilio atomo spindulį, kai elektronas juda arčiausiai prie branduolio esančia orbita, ir elektrono greitį toje orbitoje.

$e_- = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$e_+ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ kg
$e_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m
$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Js

$r_1 - ?\quad v_1 - ?$



Sprendimas

Taikome Kulono dėsnį, pagal kurį vandenilio atomo branduolys (protonas) ir apie jį besisukantis elektronas sąveikauja jėga $F_e = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$; čia e – elementarusis elektros krūvis. Elektroną suktis spindulio r orbita apie branduolį verčia įcentrinė jėga, todėl $\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \dfrac{m_e v^2}{r}$ **(1)**.

Šioje lygtyje yra du nežinomieji – r ir elektrono judėjimo orbita greitis v. Uždaviniui išspręsti reikia dar vienos lygties su tais pačiais nežinomaisiais. Ją gausime taikydami vieną iš Boro postulatų: elektronas gali suktis tik tokiomis orbitomis, kuriose jo impulsas $m_e v_k r_k$ būtų dydžio $\dfrac{h}{2\pi}$ kartotinis (Boro orbitų kvantavimas), t. y. $m_e v_k r_k = \dfrac{nh}{2\pi}$; čia n – sveikasis skaičius. Kai elektronas skrieja artimiausia branduoliui orbita, $n = 1$. Vadinasi, $m_e v_1 r_1 = \dfrac{h}{2\pi}$. Iš pastarosios lygties gauname, kad $v_1 = \dfrac{h}{2\pi m_e r_1}$. Šią išraišką įrašome į **1** lygtį: $\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \dfrac{m_e}{r_1}\dfrac{h^2}{4\pi^2 m_e^2 r_1^2}$. Matematiškai pertvarkę, randame r_1 bei v_1: $\dfrac{e^2}{\varepsilon_0} = \dfrac{h^2}{\pi m_e r_1}$; $r_1 = \dfrac{h^2\varepsilon_0}{\pi m_e e^2}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines

vertes, apskaičiuojame r_1: $r_1 = \dfrac{(6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Js})^2\, 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\dfrac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}}{3{,}14 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot (1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C})^2} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\text{m}$;

$$v_1 = \frac{6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Js}}{6{,}28 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg} \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\text{m}} = 2 \cdot 10^6\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 2000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Vandenilio atomo spindulys 0,053 nm, o elektronas sukasi 2000 km/s greičiu apie branduolį.

25.2 pavyzdys

Kiek energijos turi vandenilio atomo elektronas, besisukantis artimiausia branduoliui orbita, kurios spindulys 53 Å? Kiek energijos reikia suteikti vandenilio atomui, kad elektronas peršoktų į gretimą leistiną orbitą?

$e_- = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$e_+ = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$r_1 = 0{,}53\,\text{Å} = 5{,}3 \cdot 10^{-11}$ m
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m

W_1 –? $(W_2 - W_1)$ – ?

Sprendimas

Elektrono energija W_n (čia n – orbitos numeris) susideda iš potencinės energijos W_{pn} ir kinetinės energijos W_{kn}. Vadinasi, $W_n = W_{pn} + W_{kn}$. Potencinė energija išreiškiama formule $W_{pn} = \varphi_k e_-$. Kadangi $\varphi_k = \dfrac{e_+}{4\pi\varepsilon_0 r_k}$, tai $W_{pn} = \dfrac{e_+ e_-}{4\pi\varepsilon_0 r_k}$. Krūviai e_+ ir e_- yra vienodo didumo, bet priešingų ženklų, todėl $e_+e_- = -e^2$. Remiantis Boro postulatu, spindulys r_n išreiškiamas šitaip (žr. ankstesnį pavyzdį): $r_n = \dfrac{h^2 n^2 \varepsilon_0^2}{\pi m_e e^2}$. Elektrono kinetinė energija $W_{kn} = \dfrac{m_e v_n^2}{2}$, o $v_n = \dfrac{hn}{2\pi m_e r_n}$. Randame W_1. Kadangi $W_n = W_{pn} + W_{kn}$, tai $W_n = -\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n} + \dfrac{m_e h^2 n^2}{8\pi^2 m_e^2 r_n^2} = -\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n} + \dfrac{m_e h^2 n^2 \pi e^2}{8\pi^2 m_e r_n h^2 k^2 \varepsilon_0} = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_n}$. Spindulys $r_n = r_1 n^2$. Vadinasi, $W_n = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 n^2}$. Pagal sąlygą $n = 1$, todėl gauname, kad $W_1 = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1}$.

$$W_1 = -\frac{(1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C})^2}{8 \cdot 3{,}14 \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\dfrac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 5{,}3 \cdot 10^{-11}\,\text{m}} = -2{,}17 \cdot 10^{-18}\,\text{J}.$$

Dabar vietoj n įrašę $n = 2$, randame W_2: $W_2 = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 4}$; $W_2 = \dfrac{1}{4} W_1$.

Vadinasi, atomo energijos skirtumas $W_2 - W_1 = -\dfrac{3}{4} W_1$;

$$W_2 - W_1 = -\frac{3}{4}(-2{,}17 \cdot 10^{-18}\,\text{J}) = 1{,}63^{-18}\,\text{J}.$$

Atsakymas. Elektrono energija pirmoje vandenilio atomo orbitoje lygi $-2{,}17 \cdot 10^{-18}$J; elektronui perkelti vandenilio atome iš pirmosios orbitos į antrąją reikia $1{,}63 \cdot 10^{-18}$J energijos.

25.3 pavyzdys

Remdamiesi Boro teorija, apskaičiuokite Rydbergo konstantą.

$e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
$h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Js
$c = 3 \cdot 10^{8}$ m/s
$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ F/m
$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ kg

R – ?

Sprendimas

Vandenilio atomo k-tojoje orbitoje esančio elektrono energija išreiškiama formule (žr. ankstesnį pavyzdį) $W_n = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 k^2}$. Jeigu elektronas yra n-tojoje orbitoje, tai jo energija $W_n = -\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 n^2}$. Kadangi $\dfrac{1}{\lambda} = R\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{k^2}\right)$ ir kartu $\dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{1}{hc}(W_k - W_n)$, tai $R\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{k^2}\right) = \dfrac{1}{hc}(W_k - W_n)$. Įrašę čia W_k ir W_n išraiškas, rasime R. Įrašę į paskutinę formulę W_k ir W_n išraiškas, gauname:

$R\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{k^2}\right) = \dfrac{1}{hc}\left(-\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 k^2} + \dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1 n^2}\right) = \dfrac{1}{hc}\dfrac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_1}\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{k^2}\right)$. Kadangi $r_1 = \dfrac{h^2\varepsilon_0}{\pi m_e e^2}$,

tai $R = \dfrac{e^2\pi m_e e^2}{hc8\pi\varepsilon_0 h^2\varepsilon_0} = \dfrac{e^4 m_e}{8h^3c\varepsilon_0^2}$. Įrašę fizikinių dydžių skaitines vertes, apskaičiuojame rezultatą:

$$R = \frac{(1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C})^2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\text{kg}}{8(6{,}62 \cdot 10^{-34}\,\text{Js})^3 \cdot 3 \cdot 10^8\,\dfrac{\text{m}}{\text{s}}\left(8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\dfrac{\text{F}}{\text{m}}\right)^2} = 1{,}1 \cdot 10^7\,\text{m}^{-1}.$$

Atsakymas. Rydbergo konstanta lygi $1{,}1 \cdot 10^7\,\text{m}^{-1}$.

25.4 pavyzdys

Radžio pusėjimo trukmė – 1620 metų. Keli iš $25 \cdot 10^6$ radžio atomų suskils per vieną parą?

T = 1620 metų
$N_0 = 25 \cdot 10^6$
t = 1 para
e = 2,71828

ΔN – ?

Sprendimas

Jeigu radioaktyviosios medžiagos pusėjimo trukmę pažymime T, pradinį jos atomų skaičių – N, tai tų dydžių tarpusavio ryšį išreiškiame formule $N = N_0 e^{-\frac{0{,}693\,t}{T}}$, kurioje e – natūraliojo logaritmo pagrindas, dažnai dar vadinamas skaičiumi „e“, arba Neperio skaičiumi. Iš šios formulės apskaičiavę N, galime rasti suskilusių atomų skaičių $\Delta N = N_0 - N$. Kai laiko tarpas yra trumpas, palyginti su pusėjimo trukme T, suskilusių atomų skaičių ΔN galima rasti iš apytikslės formulės $\Delta N = \dfrac{0{,}693}{T} N_0 t$. Šiuo atveju t yra trumpas laikas, palyginti su pusėjimo trukme T, todėl galime pasinaudoti apytiksle formule:

$$\Delta N = \frac{0{,}693}{1620 \cdot 365\,\text{paros}} \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 1\,\text{para} \approx 30.$$

Atsakymas. Per parą suskyla maždaug 30 radžio atomų.

25.5* pavyzdys

Plutonio izotopas $^{239}_{94}Pu$ yra radioaktyvus ir skyla išspinduliuodamas α daleles: $^{239}_{94}Pu \rightarrow ^{235}_{92}U + ^{4}_{2}He$. Šios reakcijos metu išsiskiria energija. Tačiau tam tikra dalis energijos tenka urano branduoliams, kurie ją išskiria skleisdami γ spindulius. Kokiu greičiu išlekia α dalelės iš skylančių $^{239}_{94}Pu$ branduolių, jeigu γ spinduliai išsineša 0,09 MeV energijos? Reakcijoje dalyvaujančių atomų masės (atominiais masės vienetais) yra tokios: m_{Pu} = 239,05122 u; m_U = 235,04299 u; m_{He} = 4,00260 u.

W_γ = 0,09 MeV
m_{Pu} = 239,05122 u;
m_U = 235,04299 u;
m_{He} = 4,00260 u.
W_U = 931,3 MeV/u

v – ?

Sprendimas

Norint rasti plutonio radioaktyviojo skilimo metu išlekiančių α dalelių greitį, reikia visų pirma apskaičiuoti jų kinetinę energiją, po to, taikant kinetinės energijos formulę $W_k = \frac{mv^2}{2}$, rasti greitį v.

Vadinasi, $W_{k_{He}} = \Delta E_r - W_\gamma$ (**1**). Ieškome ryšio energijos ΔE_r, kuri lygi $\Delta E_r = \Delta Mc^2$, o $\Delta M = m_{Pu} - (m_U + m_{He})$. $\Delta E_r = \Delta M \cdot W_U$. Įrašome dydžių skaitines vertes ir gauname, kad ΔM = [239,05122 u – (235,04299 u + 4,00260 u)] = = 0,00563 u. $\Delta E_r = 0{,}00563\,\text{u} \cdot 931{,}5\frac{\text{MeV}}{\text{u}} \approx 5{,}24\,\text{MeV}$.

Gautą ryšio energijos skaitinę vertę įrašome į **1** formulę ir apskaičiuojame α dalelių kinetinę energiją branduolių dalijimosi reakcijos metu:

$W_{k_{He}}$ = 5,24 MeV – 0,09 MeV ≈ 5,15 MeV ≈ 5,15 · 10^6 · 1,6 · 10^{-19} J.

$W_{k_{He}}$ ≈ 8,24 · 10^{-13} J.

Remiantis kinetinės energijos samprata, $W_{k_{He}} = \frac{m_{He}v^2}{2}$ ir α dalelių greitis bus lygus:

$$v = \sqrt{\frac{2W_{k_{He}}}{m_{He}}}. \quad m_{He} = 4{,}00260\,\text{u} = 4{,}00260 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27}\,\text{kg} = 6{,}4 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}, \text{ taigi}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 8{,}24^{-13}\,\text{J}}{6{,}4 \cdot 10^{-27}\,\text{kg}}} \approx 1{,}58 \cdot 10^7\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 15{,}8 \cdot 10^3\,\frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Atsakymas. Skylant $^{239}_{94}Pu$ branduoliams, α dalelės išlekia apytiksliai 15,8 · 10^3 km/s greičiu.

25.1. Koks prieštaravimas iškilo tarp Rezerfordo branduolinio atomo modelio ir klasikinės fizikos dėsnių?

25.2. Kokį dydį Boras panaudojo kvantavimui atome?

25.3. Nuo ko priklauso vandenilio atomo spinduliavimo dažnis pagal Boro teoriją?

25.4. Ar gali atomas. pereidamas į sužadintąją būseną, sugerti bet kokią energijos porciją?

25.5. Kelių skirtingų energijų kvantus gali spinduliuoti vandenilio atomai, kurių elektronai yra trečiojoje orbitoje?

25.6. Kaip išsidėstę elektronai natrio atome? Ličio atome?

25.7. Kokius spindulius skleidžia vandenilio atomai, elektronams pereinant iš tolimesnių orbitų į pirmąją? Į trečiąją?

25.8. Kuo pavirs torio izotopas $^{234}_{90}Th$ po trijų nuoseklių branduolio α skilimų?

25.9. Kuo pavirs $^{238}_{92}U$ po vieno α skilimo ir dviejų β skilimų?

25.10. Izotopo $^{211}_{83}Bi$ branduolys atsirado iš kito branduolio po vieno α skilimo ir vieno β skilimo. Koks buvo pirminis branduolys?

25.11. Izotopo $^{216}_{84}Po$ branduolys atsirado po dviejų nuoseklių α skilimų. Koks buvo pirminis branduolys?

25.12. Kaip $^{238}_{92}U$ branduoliai virsta $^{239}_{94}Pu$ branduoliais?

25.13. Bombarduojant $^{7}_{3}Li$ protonais, susidaro helis. Parašykite tą reakciją.

25.14. Kiek nukleonų yra: a) $^{16}_{8}O$, $^{40}_{18}Ar$, $^{48}_{22}Ti$ atomuose; b) $^{16}_{8}O^{+}$, $^{23}_{11}Na^{+}$, $^{127}_{53}I^{+}$ jonuose?

25.15. Kokiu mažiausiu atstumu prie nejudančio sidabro branduolio gali priartėti 0,5 MeV kinetinės energijos α dalelė?

25.16. Gamtoje esantis boras yra $^{10}_{5}B$ ir $^{11}_{5}B$ izotopų mišinys, jo atominė masė lygi 10,811 u. Kiek procentų šių izotopų yra mišinyje?

25.17. Vietoj klaustuko parašykite elementariosios dalelės arba branduolio simbolį: a) $^{228}_{90}Th \rightarrow ? + ^{4}_{2}He$; b) $? \rightarrow ^{220}_{86}Rn + ^{4}_{2}He$; c) $^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ? + ^{0}_{0}\tilde{\nu}_e$; d) $? \rightarrow ^{212}_{83}Bi + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu}_e$.

25.18. Vietoj klaustuko parašykite elementariosios dalelės arba branduolio simbolį: a) $^{6}_{3}Li + ? \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{1}H$; b) $? + ^{4}_{2}He \rightarrow 3^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$; c) $^{6}_{3}Li + ^{2}_{1}H \rightarrow ? + ^{1}_{1}p$; d) $^{10}_{5}B + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{13}_{7}N + ?$.

25.19. Apskaičiuokite urano $^{238}_{92}U$ branduolio ryšio energiją. $m_p = 1{,}00728$ u; $m_n = 1{,}00866$ u; $M_b = 238{,}03$ u.

25.20. Apskaičiuokite aliuminio $^{27}_{13}Al$ branduolio ryšio energiją. $m_p = 1{,}00728$ u; $m_n = 1{,}00866$ u; $M_b = 26{,}98146$ u.

25.21. Kokio mažiausio energijos kiekio reikia $^{9}_{4}Be$ branduoliui suskaidyti į nukleonus?

25.22. Ar gali 2 MeV energijos γ kvantas suskaidyti deuterio branduolį į protoną ir neutroną?

25.23. Kuris branduolys yra stabilesnis: $^{12}_{6}C$ ar $^{13}_{6}C$? Atsakymą pagrįskite.

25.24. Kiek mažiausiai energijos reikia $^{16}_{8}O$ branduoliui suskaidyti į keturias α daleles?

25.25. Bombarduojant fluoro branduolius $^{19}_{9}F$ protonais, susidaro deguonis $^{16}_{8}O$. Kiek energijos išsiskiria vykstant tai reakcijai ir kokie dar atsiranda branduoliai?

25.26. Bombarduojant aliuminį $^{27}_{13}Al$ α dalelėmis, susidaro fosforas $^{30}_{15}P$. Užrašykite tą reakciją ir apskaičiuokite išsiskiriančią energiją.

25.27. Kaip pakinta branduolio sandara, kai jis išspinduliuoja γ kvantą?

25.28. $^{24}_{12}Mg$ branduolio sužadinimo energija 1,37 MeV. Kokio dažnio γ kvantą gali išspinduliuoti šis branduolys?

25.29. Išskiriama ar sugeriama energija vykstant šioms branduolinėms reakcijoms:

a) $^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H$; b) $^{6}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{3}_{2}He$; c) $^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$?

25.30. Kokios mažiausios energijos turi būti α dalelė, kad įvyktų branduolinė reakcija $^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$?

25.31. Nejudantis radžio izotopas, kurio masės skaičius 224, virsta radonu. Nustatykite radono branduolio ir α dalelės kinetinę energiją.

25.32. Kiek elektronų išspinduliuoja per valandą 1 μg masės β radioaktyvusis $^{31}_{14}Si$, kurio pusėjimo trukmė 2,62 h?

25.33. Per kiek laiko suskils 80 % radioaktyviojo chromo izotopo $^{51}_{24}Cr$, jeigu jo pusėjimo trukmė 27,8 paros?

25.34. Radioaktyviojo $^{32}_{14}Si$ pradinis branduolių skaičius 10^6, pusėjimo trukmė lygi 330 metų. Kiek jo branduolių suskyla per metus?

25.35. Radioaktyviosios medžiagos aktyvumas per 9 h sumažėja 8 kartus. Apskaičiuokite šios medžiagos pusėjimo trukmę.

25.36. Radioaktyviosios medžiagos pusėjimo trukmė lygi 50 metų. Per kiek laiko suskyla 93,75 % radioaktyviųjų šios medžiagos branduolių?

25.37. Pradinis radioaktyviosios medžiagos branduolių skaičius 10^{16}. Per 20 parų suskilo $7{,}5 \cdot 10^{15}$ branduolių. Apskaičiuokite medžiagos pusėjimo trukmę.

25.38. Kiek kartų sumažės nesuskilusių radioaktyviųjų branduolių per pusę pusėjimo trukmės?

25.39. Reaktorius per parą suvartojo 1 kg $^{235}_{92}U$. Dalijantis vienam urano branduoliui, išsiskiria maždaug 200 MeV energijos. Apskaičiuokite reaktoriaus galią.

25.40. Atominės elektrinės galia 650 MW, naudingumo koeficientas 0,2. Kiek $^{235}_{92}U$ suvartojo šios elektrinės reaktorius per parą? Dalijantis vienam urano branduoliui, išsiskiria maždaug 200 MeV energijos.

25.41. Apšaudant $^{14}_{7}N$ branduolius protonais, susidaro deguonies branduoliai, kurie skyla išmesdami pozitronus. Kokie branduoliai susidaro po šių virsmų?

25.42. Vykstant elektrono ir pozitrono, kurių kinetinė energija vienoda, anihiliacijai, susidaro du vienodi γ kvantai. Apskaičiuokite γ kvanto energiją ir bangos ilgį. Elektrono kinetinė energija lygi 490 keV.

25.43. γ kvantas gali virsti elektrono ir pozitrono pora. Kokia turi būti mažiausia γ kvanto energija, kad toks virsmas įvyktų?

25.44. $1{,}2 \cdot 10^{21}$ Hz dažnio γ kvantas virto elektrono ir pozitrono pora. Apskaičiuokite elektrono ir pozitrono bendrą kinetinę energiją.

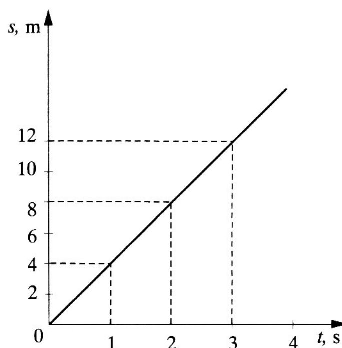
ATSAKYMAI

1. Pirmojo fizikos koncentro kartojimas

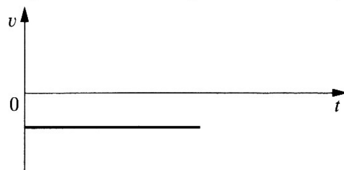
1.1. 77,6 kg; 760 N. **1.2.** 1,04 m^2. **1.3.** 7800 kg/m^3. **1.4.** Yra; $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ m^3. **1.5.** $21{,}6 \cdot 10^3$ kg/m^3; $4{,}62 \cdot 10^{-5}$ m^3. **1.6.** Tuščiaviduris. **1.7.** 8540 kg/m^3. **1.8.** 8300 kg/m^3. **1.9.** $M = \frac{2}{3}m$. **1.10.** $F_1 = \frac{mgl}{2(l-a)}$, $F_1 = 600$ N; $F_2 = \frac{mg(l-2a)}{2(l-a)}$, $F_2 = 400$ N. **1.11.** 111 kPa. **1.12.** $h_C = \frac{2h_A h_B}{h_A + h_B}$, $h_C = 43{,}6$ mm. **1.13.** 0,57 kg. **1.14.** ≈ 40.25 kW. **1.15.** $\frac{13}{8}\Omega$. **1.16.** a) 0,67 D; b) −0,33 D. **1.17.** −2,25 D.

2. Mechaninis judėjimas

2.2 Atsakyti negalima, kai nežinomi kūno matmenys ir laiko momentai, kuriais kūnai pasiekia trajektorijų susikirtimo tašką. **2.3.** Ilgesnį kelią autobusas nuvažiavo sekmadienį, o jo poslinkis šeštadienį ir sekmadienį buvo lygus nuliui, nes trajektorijų pradiniai ir galiniai taškai sutapo. **2.4.** Tiesi trajektorija. **2.5.** a) Į rytus; b) į rytus; c) į šiaurės rytus. **2.6.** Su laivu susijusioje atskaitos sistemoje trajektorija yra vertikali tiesė; su žeme susijusioje atskaitos sistemoje – parabolė. **2.7.** 5 m; 4 m; 3 m. **2.8.** 4 m; 2 m. **2.9.** 5 m; 4 m; −3 m. **2.10.** 2,8 km; 30° su šiaurės kryptimi. **2.11.*** 19 km; 20 km. **2.12.*** Turistas šiaurės kryptimi pasislinko $y = \sqrt{5}$ km, o vakarų kryptimi – $x = 2\sqrt{5}$ km. **2.13.** Kiekvienas grafikas vaizduoja tiesiaeigį tolygųjį judėjimą; $v_1 = 1$ m/s; $v_2 = 2$ m/s; $v_3 = 4$ m/s; $v_4 = 1$ m/s; $s_1 = 1\,t$; $s_2 = 2\,t$; $s_3 = 4\,t$; $s_4 = 1 + t$. **2.14.** Grafikų susikirtimo taškas rodo, kad duotu laiko momentu abu kūnai yra vienodai nutolę nuo atskaitos sistemos pradžios; $v_2 > v_1$; ne. **2.15.** Tiesiaeigį tolygųjį judėjimą; 12 m; subrūkšniuoto ploto skaitinė vertė lygi keliui; $s = 4$ t; 16 m.

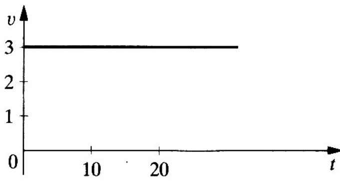


2.16. −200 m; 2200 m; taip; ne. **2.17.** $y = -3 + 2x$; $x = 2$ m; $y = 1$ m; $v = 5$ m/s. **2.18.** Kūnas juda tolygiai, priešinga x ašiai kryptimi, nes poslinkio vektoriaus projekcija x ašyje (s_x) yra neigiama, o jos absoliučioji vertė didėja proporcingai laikui.

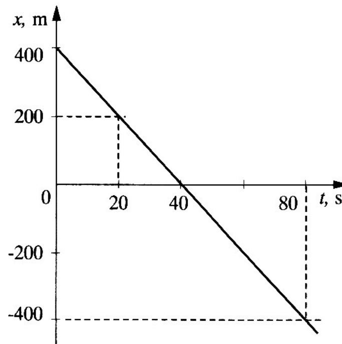


2.19. 10 s kūno judėjimas buvo tiesiaeigis tolygusis; po to 20 s kūnas stovėjo ir, sulėtinęs greitį, 10 s vėl judėjo tiesiaeigiai.

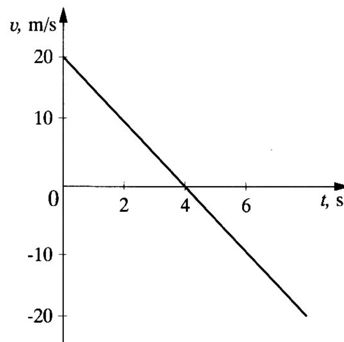
2.20.



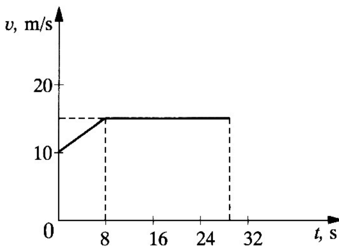
2.21. 8 m/s. **2.22.*** Žaidėjo judėjimas kamuoliuko kryptimi sumažina kamuoliuko greitį raketės atžvilgiu. Dėl to pailgėja laikas, per kurį kamuoliukas nuskrieja iki raketės, ir žaidėjas gali tiksliau smūgiuoti. **2.23.*** $x_1 = 20\ t$; $x_2 = 250 - 5t$; a) 200 m; 10 s; b) automobilis 25 s anksčiau; c) 125 m; d) 100 m; e) 20 s; f) 5 s; 15 s; g) 150 m. **2.24.** Gali, jeigu eskalatoriaus atžvilgiu žmogus judės tokiu pat greičiu, kokiu juda eskalatorius, bet priešinga jo judėjimui kryptimi. **2.25.** 20 s. **2.26.** 490 m. **2.27.** 200 m. **2.28.** 19,3 m/s; 21,5° į rytus nuo meridiano. **2.29.*** 5 m/s; 50 m. **2.30.*** $x' = 400 - 10t$. **2.31.*** a) 134 m/s; 3,4 m/s; 2,6 m/s; b) 1. (–1,4 m/s, 0); 2. (–3,4 m/s, 0); 3. (–2,4 m/s, 1 m/s). **2.32.** Pirmojo taško vidutinis greitis didesnis už antrojo. Didesnį kelią nuėjo pirmasis taškas ($s = v_{vid} \cdot t$), nes $v_{vid1} > v_{vid2}$. Didesnį pagreitį įgijo antrasis taškas (pagreitis skaitine verte lygus kampo, kurį sudaro greičio grafiko liestinė su laiko ašimi, tangentui).

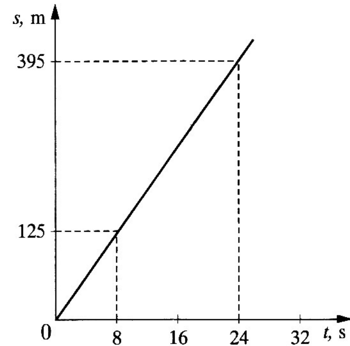


2.33. Galima nustatyti tik pagreičio vertę bet kuriuo laiko momentu. **2.34.** ≈ 8,89 m/s. **2.35.** 48 km/h. **2.36.** 42 km/h. **2.37.** –0,50 m/s^2. **2.38.** 50 s.
2.39. 5 m/s; –5 m/s.



2.40. *I* – tolygiai greitėjantis judėjimas 2 m/s^2 pagreičiu; *II* – tiesiaeigis tolygusis judėjimas; *III* – tolygiai lėtėjantis judėjimas –1 m/s^2 pagreičiu; *IV* – tolygusis judėjimas; padidėja 6 m/s; nepakinta; sumažėja 2 m/s; nepakinta. **2.42.** 1,6 m/s^2; 5 m/s. **2.43.** –200 m; 2,2 · 10^3 m. **2.44.** 200 m. **2.45.** 0,89 m/s^2. **2.46.** 50 s; 125 m. **2.47.** 50 s; 40 m/s. **2.48.** 8 m/s; 10 m/s; 4 m/s; 8 m/s. **2.49.** 20 s. **2.50.** $v_x = 20 - 0{,}25t$. **2.51.** 29 s; 2,4 m/s^2; 35 m/s. **2.52.** *AB* – tiesiaeigis tolygusis judėjimas; *BC* – tiesiaeigis tolygiai lėtėjantis judėjimas; $a_{AB} = 0$; $a_{BC} = -3$ m/s^2; 22,5 m. **2.53.** $a_{\text{I}} = 3$ m/s^2; $a_{\text{II}} = 3$ m/s^2; $v_{\text{I}} = 9$ m/s; $v_{\text{II}} = 6$ m/s. Antrasis kūnas pradėjo judėti praėjus 1s nuo pirmojo kūno judėjimo pradžios, $v_{\text{I}} = 3 + 3t$; $v_{\text{II}} = 3t$. **2.54.** 66 m/s; 89 m/s. **2.55.** 98 m/s. **2.56.** 19,6 m/s. **2.57.** 5,4 m/s. **2.58.** 2 m/s; 8 m/s. **2.59.*** 93 m. **2.60.*** 19,8 m/s; 3 s; 9,9 m/s. **2.61.*** ≈ 14,1 m/s.





2.63.* *AB* – tiesiaeigis tolygiai greitėjantis judėjimas 2 m/s^2 pagreičiu; *BC* – kūno judėjimo pagreitis kito nuo 2 m/s^2 iki 0. Didžiausias kūno judėjimo greitis buvo lygus 8 m/s ketvirtos sekundės pabaigoje. **2.64.*** $x_1 = 6{,}9 + 0{,}1t^2$; $x_2 = 2t + 0{,}2t^2$; 3 s; 7,8 m. **2.65.*** 3 s, 5 s; 24 m, 40 m. **2.66.** Dešinieji ir kairieji ratai nurieda nevienodą atstumą, nes skiriasi jų linijiniai greičiai: tų ratų, kurie yra toliau nuo posūkio kreivumo centro, linijinis greitis yra didesnis. **2.67.** Nešančioji raketa sukasi arčiau Žemės negu palydovas, todėl jos sukimosi periodas buvo mažesnis. **2.68.** Priekinių ratų sukimosi dažnis dvigubai didesnis. **2.69.** 0,2 s; 5 s^{-1}; 32,9 rad/s. **2.70.** 50,24 m/s. **2.71.** ≈ 209,3 s; ≈ 0,05 rad/s. **2.72.** 0,6 s; 10,5 rad/s; 1,05 m/s. **2.73.** ≈ 0,083 m. **2.74.** 32 m/s. **2.75.** 7,6 km/s. **2.76.** 2,88 m/s^2. **2.77.*** Greičiu, didesniu nei 834 km/h; iš rytų į vakarus; įmanoma. **2.78.*** 25,3 paros; 5,7 m/s^2. **2.79.*** Antrojo taško įcentrinis pagreitis didesnis, vadinasi, didesnis ir jo greičio modulis. **2.80.*** 30 km/s; ≈ 2 · 10^{-7} rad/s; 0,6 cm/s^2 (0,06 % g).

2.81.* 20 m/s. **2.82.*** 1 km/s^2. **2.83.*** a) 1:2; b) 2:1. **2.84.*** $\frac{2}{\pi dt}$; $\frac{2s^2}{dt^2}$.

3. Dinamika

3.1. Pirmuoju atveju pristabdomos kojos, o liemuo iš inercijos juda bėgimo kryptimi, todėl žmogus krinta į priekį. Antruoju atveju liemuo juda kaip judėjęs, o kojos paslydus įgyja didesnį greitį ir žmogus krinta atgal. **3.2.** Traukos jėgą atsveria trinties į bėgius ir oro pasipriešinimo jėga, todėl judėjimas būna tolygusis. **3.3.** Pažeidžiamas. **3.4.** Nes automobiliui būdingas inertiškumas. **3.5.** Šautuvas. **3.6.** 100. **3.7** Pirmyn; į kairę. **3.8.** Iš inercijos judėdami tiesiai rąstai posūkyje išmetami ant kranto. **3.9.** 0,5 kg. **3.10.** a) Tolygiai; b) tolygiai lėtėjančiai; c) tolygiai greitėjančiai; d) daro posūkį. **3.11.** 2 m/s. **3.14.** Negali būti lygi 2 N ir 30 N. **3.15.** Gali, jei kampai tarp gretimų jėgų lygūs 120°. **3.17.*** Kūnai

Žemės paviršiuje judėtų iš inercijos; Žemė pradėtų kristi į Saulę. **3.19.*** a) Ne, nes judėjimas greitėjantis; b) Taip, jei judėjimas tiesiaeigis tolygusis. **3.20.*** Atkarpoje *AB*. **3.21.** 0,7. **3.22.** Abiem atvejais rutuliai kabo vertikaliai; rutulys nukris priešinga pagreičiui kryptimi. **3.23.*** Ne, nes trinties jėga į važiuojamąją kelio dalį ir oro pasipriešinimas nekompensuojami. **3.24.*** Geležinio rutuliuko pagreitis 1,4 karto didesnis. **3.26.*** 500 N. **3.27.*** 13 kN; 23° su horizontu. **3.28.*** 20 N. **3.29.** a) Neteisingas; b) neteisingas; c) neteisingas; d) teisingas. **3.30.** Be jėgos $\vec{F}$, dėžę dar veikia siena jėga $\vec{F}'$. **3.31.** 0,4 m/s^2. **3.32.** ≈ 0,033 m/s^2; ≈ 0,2 m/s. **3.33.** 1,5 m/s^2. **3.34.** Lengvojo automobilio pagreitis du kartus didesnis. **3.35.**

	0,25 m/s^2	2 m/s^2				
					200 kg	20 t
			80 N	20 N		

3.36. 0,25 kg; 90 m. **3.39.** 1,5 · 10^4 N. **3.40.** $\sqrt{5}$ m/s. **3.41.** Ne, nes nėra sąveikos su antruoju kūnu. **3.42.** 200 g. **3.43.** Sąveika tarp pasisukusių automobilio ratų ir kelio. **3.44.** Tai nėra sąveikos jėgos. **3.48.** 0,5 m/s^2. **3.49.** Pirmuoju atveju valties šoną ir dugną veikia vienodo modulio, bet priešingų krypčių jėgos. Antruoju atveju veikia tik viena jėga, nes antroji veikia krantą. **3.50.** Nepakistų abiem atvejais. **3.51.** Viršutinis – 2 N; apatinis – 10 N. **3.52.*** Ne. **3.53.*** 3,5 m/s^2. **3.54.*** a)Tiesiaeigis tolygiai greitėjantis judėjimas; *I*; *II*; b) tiesiaeigis tolygusis judėjimas; *II*; *I*; c) tiesiaeigis tolygiai lėtėjantis judėjimas; *III*; *III*. **3.55.*** 40 g. **3.56.*** Sumažėja traukos jėga. **3.57.*** 100 N. **3.58.** Sunkio jėga ir oro pasipriešinimo jėga; sunkio jėga ir grindų tamprumo jėga. **3.59.** Sunkio jėga ir stalo tamprumo (atoveikio) jėga. **3.60.** Svarsčio svoris veikia diržą; tamprumo jėga – svarstį. **3.62.** 50 N/m. **3.63.** Plieninės vielos tamprumas du kartus didesnis. **3.64.** 10 N/m. **3.65.** 2 k. **3.66.*** $k = \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}$. **3.68.** a) Padidinti $\sqrt{3}$ karto; b) sumažinti 3 kartus. **3.69.** ≈ 1,2 · 10^7 N. **3.70.** 1,22 · 10^5 kg. **3.71.** 2,5; 3,8 m/s^2. **3.72.** ≈ 554 kartus. **3.73.** 10 $R_Ž$. **3.74.** ≈ 25,4 m/s^2. **3.75.** a) 2,5 m/s^2; b) 4,4 m/s^2; c) $\frac{10}{(1+n)^2}$; d) 8,45 m/s^2. **3.76.** 13,8 kN. **3.77.** 8,8 m/s^2. **3.78.** 3,27 · 10^{23} kg. **3.79.** 1,01 · 10^{17} N. **3.80.** Taške, nutolusiame per 6 $R_Ž$ spindulius nuo Mėnulio centro. **3.81.** 2,4 kN; 3. **3.82.** $a_1 = g$; $a_2 = g/2$. **3.83.** 700 N. **3.84.** 7,57 km/s; 96,5 min. **3.85.** 5. **3.86.** Perkrovos būseną patiria atsispirdamas ir liesdamas žemę, nesvarumo – kildamas į viršų. **3.87.** Mėnulyje nėra atmosferos. **3.88.** 20 m/s. **3.89.** 3,6 km/s. **3.90.** 7,3 km/s. **3.91.** $M_Ž \approx 6 \cdot 10^{21}$ t; $\rho_Ž = 5{,}5 \cdot 10^3$ kg/m^3. **3.92.** $F_p = m\omega^2 R$; $F_p = 8$ kN. **3.93.** 8,45 m/s^2. **3.94.** $v = \sqrt{G\frac{M_Ž}{r}}$; v = 5,5 km/s. **3.95.*** 1600. **3.96.*** 300 kg; 1,65 m/s^2. **3.97.*** ≈ 6 · 10^{21} t. **3.98.*** 124 min; ≈ 1,6 m/s. **3.99.*** ≈ 7,7 km/s; 90 min 20 s. **3.100.*** ≈ 16. **3.101.*** 13 cm/s^2; 330 km/s^2. **3.102.*** 8,5 kN; statmena būgno sienelėms. **3.103.*** 8 kartus. **3.104.*** $v_1 = \sqrt{G\frac{M_1}{R_1}}$; $v_1 = 0{,}5\,v$; v_1 = 3,95 km/s. **3.105.*** $\frac{r_1}{r_2} = 5{,}2$. **3.113.*** 2,76 kN. **3.114.*** 1,2 N. **3.115.*** ≈ 417 kg. **3.116.*** 42 m. **3.117.*** 0,095 m/s^2; 0,57 m/s.

4*. Niutono dėsnių taikymas. Sukamojo judėjimo dinamika*

4.1. 1000 m. **4.2.** ≈ 42 m; 240 m. **4.3.** ≈ 1,3°. **4.4.** Lėkio nuotolis padidės du kartus; laikas nepasikeis. **4.5.** 87 km; 100 s. **4.6.** 20 m. **4.8.** 250 kN. **4.9.** 290 kN; 70 s. **4.10.** 15 N. **4.11.** 12 kN. **4.12.** 25 s; 20 m/s. **4.13.** 0,6 N. **4.14.** $l = \frac{v^2}{2g\mu}$, l = 98,4 m. **4.15.** $a = \frac{T - mg}{m}$, a = g = 9,8 m/s². **4.16.** $H = 2h = \frac{(m_1 - m_2)gt^2}{m_1 + m_2}$ = 0,196 m; 14,7 N. **4.17.** 0,85 kg. **4.18.** F_1 = = F_2 = 600 N; 800 N. **4.19.** $mg(\sin\alpha - \mu_1 \cos\alpha) \leq F_{laik.} \leq mg(\sin\alpha + m_1 \cos\alpha)$, t. y. $3{,}3 \cdot 10^2$ N ≤ $F_{laik.}$ ≤ $6.7 \cdot 10^2$ N; $F = mg(\sin\alpha + \mu_2 \cos\alpha) \approx 6{,}3 \cdot 10^2$ N. **4.20.** 40°; 1,26 kN. **4.21.** $v_0 = \sqrt{4hg(\sin\alpha - \mu\cos\alpha}$; v_0 = 5,06 m/s. **4.22.*** 3,04 m/s²; 34,9 m/s. **4.23.*** $x = \frac{P\left(g + \frac{h}{t^2}\right)}{gk}$. **4.24.*** a) $P_1 = mg\frac{h}{x_1}$, P_1 = 200 kN; b) $P_2 = mg\frac{h}{x_1 + x_2}$, P_2 = 1,8 kN. **4.25.*** $d = \frac{2L\mu}{\sqrt{1+\mu^2}}$, d = 0,2 m. **4.26.*** 12,7°; 270°. **4.27.*** 0,84. **4.28.*** 1,2 m/s². **4.30.*** 134,3 m/s. **4.31.*** $R \geq \frac{v_1^2}{\mu g}$, $R \geq 98{,}1$ m; $\operatorname{tg}\alpha = \frac{mg}{\mu mg} = \frac{1}{\mu}$, α = 57°. **4.32.*** 56°51′; $n = \frac{1}{\cos\alpha}$, n = 1,8. **4.33.*** $\cos\alpha = \frac{3mg - T}{2mg}$, α = 60°. **4.34.*** 0 m/s². **4.35.*** $v = \sqrt{\frac{gR}{\mu}}$, v = 0,63 m/s. **4.36.*** 15 m/s; 22,4 m/s. **4.37.*** 16,7 m/s²; 15 m/s²; 18,3 m/s². **4.38.*** $\mu = \frac{gd}{2v^2}$, μ = 0,392.

5. Kūnų pusiausvyra

5.1. Kad pasuktume raktu veržlę, ją turime veikti jėga, kurios momentas lygus arba didesnis už trinties jėgos, veikiančios tarp veržlės ir varžto, momentą. Kadangi jėgos momentas yra lygus jėgos ir peties sandaugai, tai, sukant ilgesniu raktu, užtenka mažesnės jėgos. **5.2.** Lengviau apvirs priekaba su šienu, nes jos masės centras yra aukščiau negu mašinos su malkomis. Kuo žemiau yra kūno masės (svorio) centras, tuo pastovesnė yra jo pusiausvyra. **5.3.** Automobilį lengviau išjudinti veikiant jėga į padangą rato viršutiniame taške liestinės kryptimi. **5.4.** a) 4 Nm; b) 4 Nm; c) 2 Nm. **5.5.** Taip, kad būtų ilgiausias jėgos petys. **5.6.** 0; 50 N. **5.7.** 200 N; 3 m. **5.8.** $F_p = F\sqrt{2(1 + \cos\alpha)} \approx 35$ kN. **5.9.** Ritės sukimosi momentinė ašis yra ritės sąlyčio su stalu taškas O. Randamas jėgos petys OA_1 ir nustatoma ritės riedėjimo kryptis: a) ritė riedės į dešinę; b) ritė riedės į dešinę; c) ritė neriedės, ji šliauš į kairę; d) ritė riedės į kairę. **5.10.** 80 N. **5.14.** 2 kN; 1,2 kN. **5.15.** 1,73 kN; 1 kN. **5.16.** 1,2 kN; 1,73 kN. **5.17.*** 14,7 kN; 11,7 kN. **5.19.*** $F_B \approx 11{,}6$ kN, vertikaliai aukštyn; $F_D \approx 4{,}24$ kN, vertikaliai žemyn.

6. Tvermės dėsniai

6.1. Priekalo masė didelė, todėl dėl kūjo smūgio jis įgyja visiškai nedidelį greitį ir artistui nėra pavojinga. **6.2.** Ne; ne; bendras darbas lygus nuliui. **6.3.** Vienodą. **6.4.** Keliant m masės kūną į aikštį h, atliekamas darbas, lygus mgh. Kūną tolygiai pastumiant horizontaliu paviršiumi atstumu h, atliekamas darbas, lygus μmgh. Kadangi μ visada ma-

žesnis už vienetą ($\mu < 1$), tai antruoju atveju atliekamas mažesnis darbas. **6.5.** Sviedinį reikia mesti pradiniu greičiu $v_0 > 0$. Tada metimo momentu pilnutinė sviedinio mechaninė energija apibūdinama lygtimi $mgh+\frac{mv_0^2}{2}$. Kai sviedinio atsitrenkimas į grindis yra tamprus, tai jis pakyla į aukštį H, kurį galima apskaičiuoti iš energijos tvermės dėsnio: $mgh+\frac{mv_0^2}{2}=mgH$. Vadinasi, $H > h$. **6.6.** ≈ 1 m/s. **6.7.** ≈ 4 cm/s. **6.8.** 400 m/s. **6.9.** a) 6 m/s; b) 3,6 m/s. **6.10.** 0,2 m/s. **6.11.** 2,8 kgm/s. **6.12.** 0,13 m/s; 0,09 m/s. **6.13.*** Nepriplauks. **6.14.*** $s=\left(\frac{m_2 v}{m_1+m_2}\right)^2\frac{1}{2\mu g}$; s = 0,028 m. **6.15.*** 14 kgm/s; 20 kgm/s; 0. **6.16.** 16 kgm/s; 48 kgm/s; 16 N. **6.17.** $1{,}8\cdot10^9$ J. **6.18.** $A=mh\left(g+\frac{2h}{t^2}\right)$, A = 15 kJ. **6.19.** $A=mh\left(g+\frac{2h}{t^2}\right)$; 30,4 kJ. **6.20.** ≈ 7 kJ. **6.24.** a) 40 J; 4 m/s; b) 40 J; 4 m/s; c) 75 J; 5,5 m/s; d) 60 J; 4,9 m/s. **6.25.** –0,32 J. **6.26.** 2 m/s^2. **6.27.*** *I* – greitėjantis judėjimas; *II* – tolygiai greitėjantis judėjimas; *III* – greitėjantis judėjimas; 15 J. **6.28.** 50 J. **6.29.** 2 kg; 40 m/s. **6.30.** 3 m/s; šrato potencinės energijos dalis virto skysčio vidine energija. **6.31.** 162 J; 90 J. **6.32.** 12 m/s. **6.33.** $W_k=\frac{mg}{2}\frac{R^2}{R+h}$, $W_k = 4{,}6\cdot10^{10}$ J. **6.35.*** $A=\frac{\rho sgH^2}{2}$; ≈ 1,6 MJ. **6.36.** 2 kg; 4 m/s. **6.37.** 5 m. **6.38.** 2,5 m. **6.40.** 2 kW. **6.42.** 2,5 kW. **6.43.** Į 30 m aukštį. **6.44.** ≈ $4{,}9\cdot10^{-3}$. **6.45.** Per 94 s. **6.46.** 4 kW. **6.47.** 25 MW. **6.48.** $2{,}4\cdot10^2$ kW. **6.49.** Automobilio ir aplinkos vidinei energijai didinti. **6.50.*** 0; 0. **6.51.** 2,41 J. **6.52.*** $H=\frac{kx^2-2mgx}{2mg}$. **6.53.*** 0,9. **6.54.*** $6{,}8\cdot10^2$ m^3/s; 170 MW. **6.55.*** 50 MW. **6.56.*** 34,56 t. **6.57.*** 7,14 t. **6.58.*** 5,67 kN. **6.59.*** ≈ 77 %.

7. Mechaniniai svyravimai

7.1. 0,2 s; 5 Hz. **7.2.** 0,1 ms; $6\cdot10^5$ 1/min. **7.3.** Pirmuoju atveju spyruoklių greičių kryptys ir fazės vienodos, bet kuriuo laiko momentu; antruoju – greičių kryptys ir fazės priešingos. **7.4.** ≈ 99,4 cm; sutrumpinti 4 kartus. **7.5.** 10,4 m/s^2. **7.6.** 4. **7.7.** 2,25 karto. **7.11.** ≈ 2,45 $T_Ž$. **7.12.** Siūlo įtempimo ir grąžinančioji į pusiausvyros padėtį jėgos padidėja, svyravimo periodas sumažėja. **7.14.*** $x_1=0{,}1\sin\left(2\pi t+\frac{\pi}{4}\right)$; $x_2=0{,}05\sin\left(2\pi t+\frac{\pi}{2}\right)$; $x_3 = 0{,}04\sin(4\pi t+\pi)$. **7.15.*** 0,02 m; $\frac{\pi}{2}$ rad; 8 s. **7.16.*** 0; $\frac{a}{2}$; 0. **7.17.*** 0,4 m; 2 s; 0,5 Hz; 0,4 m. **7.18.*** 0,06 m; 50 Hz; 0,02 s. **7.19.** 1 rad. **7.20.** π rad. **7.21.** 20π rad. **7.22.** $x = 0{,}05\cos 4\pi t$. **7.23.** ≈ 0,63 s. **7.24.** 16 N/m. **7.25.** 112,5 N/m. **7.26.** 3,1 kg. **7.27.** 31,4 m/s; ≈ 15,7 m/s. **7.29.*** 0,63 s; $8\cdot10^{-3}$ J. **7.30.*** $f=\frac{1}{2\pi A\sqrt{\frac{W}{2m}}}$; $l=\frac{mgA^2}{2W}$; nepasikeis. **7.31.*** $x=0{,}04\cos\left(\pi t+\frac{\pi}{3}\right)$. **7.32.*** 0,8 J. **7.33.*** 2,8 J; ≈ 3,8 m/s. **7.34.*** ≈ 0,18 m/s; ≈ 9 rad/s; ≈ 3,2 mJ. **7.35.*** $T_1=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}+a}$; $T_2=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}-a}$. **7.36.*** a = 3g.

8. Mechaninės bangos. Akustikos elementai

8.1. 1 km/s. **8.2.** 17 m ≥ l ≥ 17 mm. **8.3.** a) $f_1 = v_k + \frac{v_b}{\lambda}$; 2 Hz; b) $f_2 = v_k - \frac{v_b}{\lambda}$; 1 Hz. **8.4.** v_k = 12 m/s; v_b = 4 m/s. **8.5.** a) 3 m/s; b) 6 m; c) 0,5 Hz. **8.6.** $\Delta\varphi = \frac{2\pi s}{\lambda}$; $\frac{2\pi}{3}$. **8.7.** 3,4 m; $\Delta\varphi = \frac{2\pi s}{vT}$. **8.8.** $\Delta\varphi = \frac{2\pi(x_2 - x_1)}{Tv}$; π. **8.9.** 0,5 m; 4 π. **8.10.** Garso dažnis nepakinta, todėl garsas neiškraipomas; pakinta garso bangos greitis ir jos ilgis. **8.11.*** $v = \frac{2\pi s f}{\Delta\varphi}$; 80 m/s. **8.12.*** $\frac{\Delta d}{0{,}5\lambda} = 3$; minimumas. **8.13.*** 300 Hz; 1,13 m. **8.14.** 1184 m. **8.15.** $\frac{\lambda_v}{\lambda_0} = \frac{v_1}{v_2}$; $\frac{\lambda_v}{\lambda_0} = 4{,}35$. **8.16.*** $h = \sqrt{\frac{svt}{2} + \frac{v^2t^2}{4}}$; 2,6 km. **8.17.** $h_1 = \frac{vt_1}{2}$; 0,26 m; $h_2 = \frac{vt_2}{2}$; 0,52 m. **8.18.** a) 0,033 m; b) 0,14 m; c) 0,5 m; d) nesklis.

9. Mechaninės skysčių ir dujų savybės

9.1. 4 t. **9.2.** Siauresniajame inde a = 2,96 cm; platesniajame – b = 0,74 cm. **9.3.** 0,18 m. **9.4.** 980 N. **9.5.** $2{,}5 \cdot 10^{-2}$ m. **9.9.** ≈ 38 kN. **9.10.** 80 kN; 4 kN. **9.15.** 274 m. **9.16.** 4 kartus. **9.17.** 45 kJ. **9.18.*** 54,24 kJ. **9.19.*** 9,5 kg. **9.20.*** ≈ $9{,}6 \cdot 10^{-2}$ kg; ≈ $20{,}4 \cdot 10^{-2}$ kg. **9.21.*** $1{,}75 \cdot 10^3$ kg/m^3. **9.22.*** $4{,}2 \cdot 10^{-5}$ m^3. **9.23.** 0,78 m^3/s. **9.24.** ≈ 1,35 m/s. **9.25.** ≈ 41 cm. **9.29.** Užsikimšdavo vamzdis. **9.31.** ≈ 1450 m^3. **9.32.** ≈ 90 cm. **9.33.** 3,2 m/s. **9.34.** 1 m/s. **9.38.** 34,5 m/s. **9.39.** 10 m/s. **9.40.** $2{,}74 \cdot 10^5$ Pa. **9.41.** 10 m/s. **9.42.** $v = \sqrt{\frac{2F}{\rho S(1 - s_0^2)s^2}}$.

10. Dujų dėsniai

10.2. Ore molekulių yra daugiau. **10.4.** Šviečiančioje lempoje esančios dujos stipriai įkaista, todėl labai padidėja jų slėgis. Kad kolba nesprogtų, pradinis slėgis turi būti žemas. **10.5.** ≈ 725 K. **10.6.** ≈ 725 K; 3 km/s. **10.7.** ≈ $3 \cdot 10^{21}$. **10.11.** Žemės atmosfera galėtų pamažu išsisklaidyti tarpplanetinėje erdvėje. Pirmiausia – vandenilio molekulės, kurių greitis didesnis nei azoto ar deguonies. **10.12.** Dideliame aukštyje oras artimesnis idealiosioms dujoms, nes yra labai praretėjęs. **10.13.** Taip teigti negalima, nes čia ne izoterminis procesas. **10.15.** Temperatūros negalima matuoti lyginant su etalonu. Visi termometrai matuoja ne temperatūrą, o nuo temperatūros priklausančius tūrį, slėgį ir t. t. **10.16.** a) Kylant temperatūrai, vandens stulpelio aukštis sumažės, o krintant – padidės; b) termometro rodmenys priklauso nuo atmosferos slėgio ir skysčio garavimo; c) kad termometro rodmenys būtų tikslesni, į jį reikia įpilti skystos alyvos. **10.17.** Ventiliatorių reikia įtaisyti prie lubų arba prie grindų priklausomai nuo dujų tankio. **10.19.** Prisisiurbia, nes, orui taurėje ataušus, jo slėgis pasidaro mažesnis negu atmosferos. **10.20.** 296 K. **10.21.** $V_2 < V_1$. **10.22.** $T_2 > T_1$. **10.23.** 800 K. **10.24.** 0,035 kg; 0,56 kg. **10.25.** 913 K. **10.26.** 625 K. **10.27** Balionui nustojus sandarumo, slėgis staigiai krinta, o tūris didėja – gali įvykti sprogimas; skysčio slėgis praktiškai nekinta. **10.29.** 10^5 Pa. **10.30.** 9 kg. **10.31.** $1{,}4 \cdot 10^5$ Pa. **10.32.** 3,5 m^3. **10.33.** ≈ 7,2 s. **10.34.** ≈ 47 kPa. **10.35.** $p_2 > p_1$. **10.36.** ≈ 5,7 l. **10.37.** 510 cm^3. **10.39.** ≈ 53 kPa. **10.40.** 300 kPa. **10.43.** 770 g. **10.45.*** ≈ 0,5 kg/m^3. **10.46.** Acetilenas. **10.48.** ≈ 330 K. **10.49.** ≈ 1,9 l. **10.50.** 1736 mmHg. **10.51.*** ≈ 151 kPa. **10.52.*** 6,32 kg. **10.53.** ≈ 800 MPa.

11. Garų savybės. Oro drėgmė

11.1. Nesant vėjo, garų tankis virš skysčio paviršiaus būna didesnis, negu pučiant vėjui, ir skystis garuoja lėčiau. **11.2.** Plaukikas, išėjęs iš vandens, jaučia šaltį, nes energija vartojama vandeniui garinti; pučiant vėjui, vanduo garuoja intensyviau. **11.3.** Lietui lyjant, susidaro didelis garavimo paviršius, o vanduo garuoja vartodamas atmosferos oro vidinę energiją. **11.4.** Karštu oru išsiskiriantis ir garuojantis prakaitas saugo žmogaus organizmą nuo perkaitimo. Pelkėtose vietose vandens garų tankis ore yra didesnis, ir prakaitas garuoja lėčiau. **11.5.** Po drabužiu, kurio sudėtyje yra gumos, vandens garų tankis ore yra didesnis, todėl prakaitas garuoja lėčiau. **11.6.** 1 m^3 kambario oro yra žymiai daugiau vandens garų negu tokiame pačiame kiekyje išorės oro. **11.7.** Temperatūrai krintant, garai tampa sočiaisiais ir pradeda kondensuotis. **11.8.** Oras ataušta (tai dažniausiai atsitinka rytais) iki tokios temperatūros, kurioje santykinė drėgmė lygi 100 %. **11.9.** Karštą dieną išgaruoja daugiau vandens. **11.10.** Debesų sluoksnis trukdo Žemės paviršiui ataušti. **11.11.** 8,55 g/m^3; 52 %. **11.12.** 10,7 g/m^3; 62 %. **11.13.** 9,27 g/m^3; 10 °C. **11.14.** Temperatūrai žymiai nukritus. **11.15.** 2,5 g. **11.16.** 286 K. **11.17.** Ne; taip; 1,64 g. **11.18.** Ne; taip; 0,2 g. **11.19.** 70 %. **11.20.*** 60,5 g; 5 K. **11.21.*** a) 2,1 kg; b) 4,68 kg. **11.22.*** 70 g. **11.23.*** 2,17 kPa; ≈ 12,41 kPa. **11.24.*** $p = p_0 + \rho g h + \Delta p = 123{,}8$ Pa.

12. Skysčio paviršiaus savybės

12.1. Drėkinantis skystis traukiamas į kapiliarus – audeklo, popieriaus ir t. t. poras. **12.2.** Ne; dirvą reikia purenti, kad gruntiniai vandenys negalėtų kilti kapiliarais, susidariusiais viršutiniame sukietėjusiame dirvos sluoksnyje. **12.3.** Ant ištraukto iš vandens teptuko plaukelių lieka vandens plėvelė; veikiami jos paviršiaus įtempimo jėgos, plaukeliai susiglaudžia. **12.4.** Galima pripilti nedrėkinančio skysčio, nes jo molekulių sąveikos jėgos didesnės už skysčio ir stiklo molekulių sąveikos jėgas. Visų tų jėgų atstojamoji bus nukreipta į skysčio vidų ir sulaikys skysčio daleles, atsidūrusias virš stiklinės kraštų. **12.5.** 0,022 N/m. **12.6.** 15 cm; 6,3 cm; 7 cm. **12.7.** 1,2 mm; 0,6 mm; 0,37 mm. **12.8.*** 0,078 N/m. **12.9.*** 64 μJ. **12.10.*** $d \le \sqrt{\frac{8\sigma}{\pi \rho g}} = 1{,}6$ m. **12.11.*** 0,07 N/m. **12.12.*** 1,4 cm; 1,9 cm. **12.13.*** $3{,}14 \cdot 10^{-2}$ N/m. **12.14.*** $2{,}25 \cdot 10^{-5}$ kg. **12.15.*** 3,2 kg/m^3.

13. Kietųjų kūnų savybės

13.1. Gniuždymo, tempimo, lenkimo, sukimo, šlyties deformacijos. **13.2.** Gniuždymo; gniuždymui. **13.3.** Įtempimas padidės. **13.4.** Kambario temperatūroje stiklo tempimo arba lenkimo stiprumo riba yra kur kas mažesnė negu plieno. **13.5.** 1,9 kN. **13.6.** $3{,}6 \cdot 10^5$ Pa, mūras prie sienos pagrindo turi būti stipresnis. **13.7.** $8 \cdot 10^7$ Pa. **13.8.** Liekamoji deformacija atsiras, kai $F \ge 2{,}2 \cdot 10^2$ N; $9{,}8 \cdot 10^{-4}$ m. **13.9.** $2{,}2 \cdot 10^8$ Pa. **13.10.** Kai $\sigma \le 1{,}2 \cdot 10^8$ Pa, varis lieka tamprus, o kai $\sigma \ge 1{,}2 \cdot 10^8$ Pa, – plastiškas; galima. **13.11.** Ne; ne. **13.12.** $4 \cdot 10^7$ Pa; $2 \cdot 10^{11}$ Pa. **13.13.** 235 MPa. **13.14.*** 2,45. **13.15.*** 40 N; 0,8 J.

14. Šiluminiai reiškiniai. Termodinamikos dėsniai

14.1. Jūros ir vandenynai gali sukaupti milžiniškus energijos kiekius, todėl jie sumažina oro temperatūros svyravimus pakrančių zonoje. **14.2.** Smėlio savitoji šiluma maža ir jis sukaupia per mažą vidinės energijos kiekį, kad temperatūros svyravimas per parą išsilygintų. **14.4.** Skiriasi 5 kartus. **14.5.** a) didėja; b) mažėja; c) nekinta.

14.6. ≈ 642 · 10^{-23} kJ. **14.7.** ≈ 10,5 MJ. **14.8.** ≈ 66,7 kPa. **14.9.** 1,25 karto. **14.10.** *1* – arbatinuko; *2* – vandens. **14.11.** *1* – vandens; *2* – geležies; *3* – vario. **14.12.** ≈ 1,3 MJ. **14.13.** Įkaitintą metalo gabalą. **14.14.** 38 °C. **14.15.** 8,42 m^3. **14.16.** ≈ 954 J/kg · K. **14.17.** 200 J. **14.18.** 3,5 · 10^{-4} m^3. **14.19.** 1,28 kJ. **14.20.** ≈ 215 kJ. **14.21.** ≈ 8,5 kJ. **14.24.** 3 kartus: $A' = 2p_0V_0$. **14.25.** Sumažėjo 200 J. **14.26.** ≈ 365 kJ. **14.27.** 346,5 kJ. **14.28.** ≈ 15 kJ; ≈ 10 kJ; ≈ 25 kJ. **14.29.** ≈ 2,3 MJ; ≈ 7,3 MJ. **14.31.** ≈ 31 %; mažesnis už didžiausią vertę. **14.32.** 1227 °C. **14.33.** 30 %. **14.34.** 32 %; ≈ 397 K.

15. Elektrostatikos dėsniai ir sąvokos

15.1. Galima tik tuo atveju, kai lazdelė turi izoliuotą rankenėlę. **15.2.** Elektroskopo krūvio ženklas bus neigiamas, jei, prisilietus įelektrinta ebonitine lazdele, lapeliai dar labiau prasiskleis. **15.3.** Kad statinis krūvis nutekėtų į žemę. **15.4.** 2 · 10^{-5} C. **15.5.** 0,074 N; 0,29 m. **15.6.** 1 · 10^{-5} C; 3 · 10^{-5} C; 0,03 m. **15.7.** Laidininko viduje nebūna lauko. Lempos ekranuojamos nuo elektros laukų. **15.8.** Jeigu detalės bus sujungtos su kitu aukštos įtampos šaltinio poliumi. **15.9.** 6,7 · 10^{-4} N; 6,9 · 10^{-4} N. **15.10.** 0,5 · 10^{-5}; 90 N. **15.11.** 8,3 · 10^{-2} m nuo pirmojo krūvio. **15.12.** 4,7 · 10^{-5} C/m^2. **15.13.** 0,12 N. **15.14.** 75 kN/C. **15.15.** 1,8 mN. **15.16.** 800 kN/C. **15.17.** 3,3 kN/C. **15.18.** 3,6 · 10^{-7} C; 2,6 cm. **15.19.** Vanduo; 0,72 · 10^{-9} C^2/Nm^2. **15.20.*** 0,16 m. **15.21.*** 1,1 · 10^{-2} N. **15.22.*** 1,8 · 10^{-8} C. **15.23.*** 70 mN. **15.24.** 2,5 · 10^6 V/m. **15.25.*** 10^{-8} kg. **15.26.*** 11,3 kV/m. **15.27.** 6 · 10^5 C. **15.28** 990 kV/m. **15.29.*** 250 kV/m. **15.30.*** 9,93 m/s^2. **15.31.** 5 V. **15.32.** 9,2 mJ. **15.33.** 36 kN/C; 7,2 kV. **15.34.** 52 V. **15.35.** Visais atvejais elektrinis laukas atlieka tokį pat darbą. **15.36.** 6 μJ. **15.37.** 0,16 J. **15.38.** 29 V. **15.39.** –2,4 · 10^{-4} J. **15.40.** 12 kV. **15.41.** 3,44 kV. **15.42.** 1,5 · 10^{-7} m. **15.43.** Ne visada. Greta kitų laidininkų jų talpa bus kitokia. **15.44.** 8 μF. **15.45.** 3,2 μC; 320 V; 2,56 · 10^{-4} J; 5,12 · 10^{-4} J. **15.46.** 160 pF; 4,8 · 10^{-8}C; 7,2 μJ. **15.47.** 15 kV. **15.48.*** 3,2. **15.49.*** 0,18 C^2/Nm^2; 2 · 10^{-5} C. **15.50.*** 5,3 cm atstumu nuo mažesniojo krūvio pusiausvyra bus nestabili; nesutriks. **15.51.*** 2 · 10^{-9} N; 0,05 m/s^2. **15.52.*** 0; taip. **15.53.*** 920 kN/C. **15.54.*** 28 kN/C; 28 kN/C. **15.55.*** 1 · 10^{-8} C. **15.56.*** 53 m/s^2; 20 km/s; 4 μs. **15.57.*** 10^{-7} s. **15.58.** Lygus nuliui. **15.59.** 30 V. **15.60.*** 1,6 nC; 6 · 10^{-9} J. **15.61.** 1 kV; 0,15 N. **15.62.*** 5 mm atstumu. **15.63.** Mažesniojo skersmens rutulio potencialas didesnis už didesniojo skersmens rutulio potencialą; didesnįjį krūvį turinčio rutulio potencialas didesnis už mažesnį krūvį turinčio rutulio potencialą. **15.64.** Įelektrinto paviršiaus potencialas padidėja, nes sumažėja talpa. **15.65.** 1060 pF. **15.66.** 8 · 10^{-4} C. **15.67.** 24 · 10^{-8} F; 6 · 10^{-5} C. **15.68.** Kondensatoriaus talpa 6 kartus padidėjo; krūvis nepasikeitė. **15.69.*** 40 kV; 4 cm. **15.70.*** 8,4 nC; 500 V. **15.71.*** 0,8 μF; 1,6 mC. **15.72.*** Pirmuoju atveju kondensatoriai sujungiami nuosekliai; antruoju – lygiagrečiai. **15.73.** 150 V; 150 V; pirmojo kondensatoriaus krūvis 9 · 10^{-4} C, antrojo – 15 · 10^{-4} C. **15.74.** 1,25 mC; 0,16 J. **15.75.** 5 μF; 1,1 mC. **15.76.** 0,75 μF; 9 · 10^{-5} C; 3 · 10^{-5} C; 6 · 10^{-5} C; 90 V; 30 V; 30 V. **15.77.** 0,8 μF; 44 V; 176 V. **15.78.*** 1,76 · 10^{11} C/kg. **15.79.*** 1,3 · 10^{-2} m.

16. Nuolatinės srovės dėsniai

16.2. 75 · 10^{15}. **16.3.** 1,56 · 10^{22}. **16.4.** 2,5 C. **16.5.** 3 · 10^{21}. **16.6.** 10,5 Ω. **16.7.** 277,4 kg. **16.8.** 9 · 10^5 $Ω^{-1}$ m^{-1}. **16.9.** 1,4. **16.10.** 0,1 Ω. **16.11.** 3,55 Ω. **16.12.** 76,3 °C. **16.13.** 695 m. **16.14.** 3,8 kΩ. **16.15.** 0,1 Ω. **16.16.** a) 0,7 mm/s; b) 117 km/s. **16.17.** 30 A. **16.18.** a) 1 A; b) 2,5 A; c) 4 A; d) 5 A. **16.19.** 0,2 Ω; 5,1 A. **16.20.** 0,4 A; 1,6 V; 0,16 V. **16.21.** 0,15 V; 0,45 V. **16.22.** 3,1 Ω. **16.23.** 12. **16.24.** 12,5 V. **16.25.*** 52 mA; 5 mV. **16.26.** Ampermetras A_1 rodys mažesnę srovę, o ampermetras A_2 – didesnę. **16.27.** 3 *r*; $\frac{1}{3}r$; $\frac{3}{2}r$; $\frac{2}{3}r$. **16.28.** Sumažėjo

4 kartus. **16.29.** 11,43 m. **16.30.** 12,5 Ω. **16.31.** 100 Ω; 350 V. **16.33.** $4{,}26 \cdot 10^{[illegible]}$. **16.35.** 17,8 A; $3{,}65 \cdot 10^5$ A/m^2. **16.36.*** 1,1 mA. **16.37.*** 2 V. **16.40.*** 2 A; 14 Ω. **16.41.*** 2 Ω; 30,6 V. **16.42.*** 0,5 Ω; 2,2 V; 4,4 A. **16.43.*** 12,5 V. **16.44.*** 0; 5 A; 4 Ω; 23 m. **16.45.*** 1,75 A. **16.46.*** $\frac{R_{AC}}{R_{BD}} = \frac{8}{9}$. **16.47.*** $R_{AB} = \frac{1}{2}R$. **16.48.*** 5,5 A. **16.49.*** Antrajame rezistoriuje. **16.50.*** Antroji viryklė naudoja 2,5 karto didesnės galios srovę. **16.51.*** 0,6 A; 0,2 A; 0,53 A. **16.52.*** 3 A. **16.53.** 236 Ω. **16.54.** 15 W. **16.55.** 93 A. **16.56.*** 82 %. **16.57.*** 106 mm^2. **16.58.*** 174 t. **16.59** 85 %. **16.60.** 22,5 min.

17. Elektros srovė įvairiose terpėse

17.1. Jonizuojantis skystiems tirpalams, nesusidaro laisvųjų elektronų. **17.2.** Nes vyksta jonų reakcija. **17.3.** Savaiminis dujų laidumas nepriklauso nuo jonizatoriaus veikimo; nesavaiminis dujų laidumas išnyksta nustojus veikti jonizatoriui. **17.4.** Reklamos užrašas neįsižiebė dėl į vamzdelį patekusio oro, kuris sumažino elektronų laisvojo kelio ilgį, todėl rusenančiam išlydžiui nepakako įtampos. **17.5.** Žemės magnetinis laukas nukreipia elektringąsias daleles Žemės ašigalių link. **17.6.** Elektrinio lauko energija virsta elektronų kinetine energija. Kai elektronai pasiekia anodą, energija grąžinama laukui, taip pat perduodama anodui, kuris įkaista. **17.7.** Elektroninių lempų katodui kaitinti naudojama bet kokia elektros srovė. **17.8.** Elektronų srautas neturi inercijos, todėl vakuume lengva jį valdyti keičiant elektrinį lauką. **17.9.** Žmogaus sąmonė vaizdą išlaiko $\frac{1}{16}$ sekundės dalį. **17.10.** Avometrą reikia naudoti pagal ommetro schemą ir prijungti jį prie kaitinimo siūlelio galų. Jei rodyklė bus ties žyme ∞, tai siūlelis bus nutrūkęs, o elektrodai nebus susijungę. **17.11.** $6{,}4 \cdot 10^{-13}$ A. **17.12.** $15 \cdot 10^6$. **17.13.** 80 nA. **17.14.** $3{,}2 \cdot 10^{-13}$ A/m^2. **17.15.** 2 mm. **17.16.** $3{,}56 \cdot 10^{-15}$ N. **17.17.** 30 MV/m. **17.18.** $1{,}36 \cdot 10^{-18}$ J. **17.19.** $\approx 31 \cdot 10^{16}$. **17.20.** 4 mA. **17.21** 5,9 Mm/s. **17.22.** a) ≈ 13 Mm/s; b) ≈ 42 Mm/s. **17.23.** $4{,}8 \cdot 10^{-15}$ J. **17.24.** 300 V. **17.25.** 35 kV/m. **17.26.** $2{,}4 \cdot 10^{-15}$ J. **17.32** ≈ 18,5 h. **17.33.** Netikslus. **17.34** $\approx 3 \cdot 10^4$ C. **17.35.** 53,4 μm. **17.36.** 1,1 Ω. **17.37.** 125 kW; 6,23 m^2. **17.38.** 325 A/m^2. **17.39.** $2{,}9 \cdot 10^{-7}$ kg/C. **17.40.** 10,95 g. **17.41.** $7{,}7 \cdot 10^{-5}$ m. **17.42.** $1{,}4 \cdot 10^{-2}$ kg; $2{,}62 \cdot 10^{-2}$ kg. **17.43.** 2. **17.44.** Per ≈ 1,9 h. **17.45.** 56 A/m^2. **17.46.** ≈ 2 mm/s. **17.47.*** 470 A/m^2. **17.48.*** ≈ 300 h. **17.56.*** 10 kartų.

18. Magnetinis laukas

18.2. $4 \cdot 10^{-5}$ T. **18.3.** $2{,}51 \cdot 10^{-5}$ T. **18.4.** 118 mT. **18.5.** ≈ 1,84 T. **18.6.** 6,28 mN. **18.7.** ≈ 15 A. **18.8.** 8,8 μWb. **18.9.** 18 mWb. **18.10.** 0,5 μWb. **18.11.** 2,5 J. **18.12.** Apie pirmąjį laidininką susidaro magnetinis laukas, kurio magnetinės indukcijos linijos išsidėsto apskritimais pagal dešinės rankos taisyklę. Antrasis laidininkas yra tame lauke. Kadangi juo teka srovė, tai jį veikia Ampero jėga $\vec{F}_2$, kurios kryptį nustatome pagal kairės rankos taisyklę. **18.13.** Į viršų. **18.15.** Laidai pasisuks ir pasitrauks. **18.16.** Nesąveikauja. **18.17.** 10^{-15} N. **18.18.*** 2,7 V. **18.19.** $2{,}8 \cdot 10^{-2}$ m. **18.20.** 5 mT. **18.21.** 300 kartų.

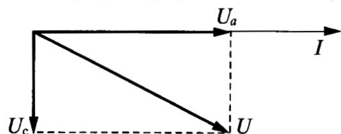
19. Elektromagnetinė indukcija

19.1. Skaitytojo link. **19.2.** Pietų polius. **19.3.** Žemyn. **19.4.** 3 mV. **19.5.** 29 cm. **19.6.** 1,2 mT. **19.7** 23°30′. **19.8.** 13 V. **19.9.** 100 vijų. **19.10** 0,314. **19.11.** 1,0 J. **19.12.** 17 mH. **19.13.** 2 A. **19.14.** Kol grandinė nutraukta, solenoidu ir ampermetru teka srovės I_1 ir I_2. Grandinę nutraukus, solenoide atsiranda saviindukcijos elektrovara, kuri stengiasi

palaikyti jame tos pačios krypties srovę. Toji srovė tekės ir ampermetru, taigi jo rodyklė nukryps į priešingą negu bandymo pradžioje pusę. **19.15.** Neatsiranda. **19.16.** Ne; taip. **19.17.** Gali būti taip. kai elektrinį lauką kuria kintamas magnetinis laukas. **19.18.** Kai nutraukiama, nes tada srovės kritimo iki nulio laikas būna trumpesnis. **19.19.** 4 kartus padidės. **19.20.** Maitinimo šaltinio energija virsta vidine energija (grandinė šyla) ir magnetinio lauko energija. **19.21.*** 0,25 mT. **19.2.*** 11 m/s. **19.23.*** Sumažės 1,1 A.

20. Elektromagnetiniai virpesiai ir bangos. Kintamoji elektros srovė

20.1. Dėl aktyviosios varžos virpesiai tampa slopinamieji, pakinta jų periodas. Didėjant kontūro varžai. didėja virpesių periodas, o jų slopinimas spartėja. **20.2.** Elektromagnetinių virpesių energija realiame kontūre mažėja; dėl aktyviosios kontūro varžos elektromognetinių virpesių energija virsta šiluma ir išspinduliuojama. Kad virpesiai nesloptų, energijos nuostolius reikia kompensuoti. **20.3.** 194 kHz. **20.4.** 160 mA.
20.5. u = 100 cos 6280,7t; i = –31,4 sin 6280,7t; 0 V; –100 V; –31,4 mA; 0 A. **20.6.** a) 2 ms; b) 2,03 H; c) i = –11,8 sin 1000πt; d) < 500 Hz. **20.7.** a) 5 kHz; b) 0,01 H; c) i = –158 sin 10 000πt; d) 200 µs. **20.8.** 63 µH. **20.9.** 32 mH ≤ L ≤ 127 mH.
20.10. 0,11 MHz ≤ f ≤ 0,15 MHz. **20.11.*** 15,7 Hz. **20.12.*** $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{L_1 + L_2}{CL_1L_2}}$.
20.13. Kondensatorius pripildytas žėručio, nes ε = 5,97. **20.14.** W_e = 0,25 cos² 6280,7t; W_m = 0,25 sin² 6280,7t; W_p = const = 0,25 mJ; a) W_{e1} = 0,125 mJ; W_{m1} = 0,125 mJ; W_{p1} = 0,25 mJ; b) W_{e2} = 0; W_{m2} = 0,25 mJ; W_{p2} = 0,25 mJ; c) W_{e3} = 0,25 mJ; W_{m3} = 0; W_{p3} = 0,25 mJ; d) W_{e4} = 0,25 mJ; W_{m4} = 0; W_{p4} = 0,25 mJ.
20.15. $\Phi = BS\cos\frac{2\pi}{T}t = BS\cos\omega t$; $e = -BS\cos\frac{2\pi}{T}\sin\frac{2\pi}{T}t = -BS\omega\sin\omega t$. **20.16.** Elektrovaros periodas dvigubai sumažės, dažnis ir amplitudinė vertė dvigubai padidės.
20.17. 2,5 V; e = 2,5 sin 20πt. **20.18.** 15,3 V. **20.19.*** $\Delta T = \frac{\pi^2 B^2 S n^2 t}{8\rho dc}$; ΔT = 3 °C.
20.20. u = 311,1 sin314 t. **20.21.** 120,2 V; 100 Hz; 0,01 s. **20.22.** 10 A; 314 s⁻¹; 50 Hz; 0,82 rad; –2,7 A; 10,2 A. **20.23.** 0,25 rad; 0 A; –2,2 V. **20.24.** 2,85 A. **20.25.** 85; 0,01 s. **20.26.** 12,7 Ω; 3,2 Ω; 1,6 Ω. **20.27.** 13,2 Ω; 52,8 Ω; 106 Ω. **20.28.** 27,5 Ω; 16,5 V; 0,729. **20.29.** 4,41 A. **20.30.** a) 60 V; b) 96 V; c) 113,2 V; d) 58°. **20.31.** a) 26,5 µF; b) 160 Ω; c) 200 V. **20.32.** 251,7 Hz. **20.33.** 100 V. **20.34.** Induktyvioji; ≈ 1,1 kW. **20.35.** 6 A; 0,651 rad; 50 Hz; 5,1 A; 8,1 A. **20.36.** 0,25 rad; –46 V; –8,8 A. **20.37.** 12,7 A; 0,58. **20.38.*** 24 A; 0,6;



20.39.* 12 A; 2,2 kW; 2,7 kW. **20.40.*** 135 µF; $U_L \approx U_C$ = 590 V. **20.41.** 4 A. **20.42.** 27,5 Ω; 16,5 V; 0,729. **20.43.** 4,6 mA; 73,3 V; 146,6 V. **20.44.** Perdegs. Transformatoriuje nėra trinties nuostolių. **20.45.** 6,11; 144; antrinės apvijos didesnis. **20.46.** 2000 vijų.
20.47.* Plienui kaitinti; 90°. **20.48.*** 78,2°. **20.49.** 19,8 kW; praktiškai visa ši galia sunaudojama nuostoliams, atsiradusiems dėl transformatoriaus plieno, kompensuoti.
20.50. 104,4 V. **20.51** 96,2 %. **20.52.** Per 3,3 · 10⁻⁴ s. **20.53.** 7 · 10⁻⁷ s. **20.54.*** 41 km.
20.55. 3 THz. **20.56.** 2,83 pF. **20.57.** 315 m. **20.58.** 188,4 m. **20.59.** 4 kartus.
20.60. 64 kartus. **20.61.** 1,9 · 10⁸ m/s. **20.62.** 1,16 µs. **20.63.** 46,4 km. **20.64.** Per 2,53 s.

21. Šviesos atspindys ir lūžis

21.1. 0,6 m. **21.2.** 15 m. **21.3.** 2,66 m. **21.4.** Veidrodį reikia pakreipti 75° kampu į horizontą, tada šviesos spinduliai kris į veidrodį 75° kampu ir atsispindėję spinduliai bus nukreipti vertikaliai žemyn. **21.5.** Veidrodį reikia padėti 30° arba 60° kampu į horizontą, tada atsispindėję spinduliai bus nukreipti horizontaliai į kairę arba į dešinę. **21.6.** 1 m/s. **21.7.** 60 cm. **21.8.*** 5 cm/s. **21.9.** 1,33. **21.10.** 18°20′. **21.13.** ≈ 22°. **21.14.** Dešinėje pusėje. **21.15.** 1,35. **21.16.** 1,55. **21.17.** 52,6°. **21.18.** 10,25 cm; 14,1 cm. **21.19.** 40°. **21.20.** a) 0,046 m; b) 0,017 m. **21.21.** 0,1 cm. **21.22.** ≈ 5,8 cm.

22. Šviesos sklidimas lygiagrečių sienelių plokštele ir prizme. Vaizdų susidarymas lęšiuose

22.5. 1,33 D. **22.6.** 0,2 m; –0,3 m. **22.7.** 0,1 m; 2 m. **22.8.** ≈ 6,7 D; 15 cm; ≈ 1,7. **22.9.** 0,2 m. **22.10.** 8 cm. **22.11.** ≈ 20 D. **22.12.** 32 cm; 4 kartus padidintas. **22.13.** 12 cm. **22.15.** 10,25 cm; 14,1 cm. **22.17.** 4,5 cm. **22.18.** Prizmė pagaminta iš medžiagos, kurios lūžio rodiklis ≈ 1,83. **22.19.** 90°. **22.20.** 42°. **22.21.** ≈ 1,7. **22.22.** $-1{,}4\ m^{-1}$. **22.23.** ≈ 33 cm atstumu. **22.24.** ≈ 9°; 19°. **22.25.** 34°20′. **22.26.*** ≈ 10°10′.

23. Šviesos reiškiniai

23.3. Nuo $7{,}5 \cdot 10^{-7}$ m iki $4 \cdot 10^{-7}$ m. **23.4.** Žalias stiklas praleidžia tik žalius spindulius, visus kitus sugeria, o raudonas rašalas sugeria žalius spindulius, todėl atrodo juodas. **23.6.** a) Taip; b) ne. **23.9.** a ir b atveju. **23.13.** $2 \cdot 10^6$. **23.14.** ≈ 316 μm. **23.15.** ≈ 220 Mm/s. **23.17.** Maksimumą. **23.18.** Susilpnėja; sustiprėja; susilpnėja. **23.19.*** ≈ 0,3 mm. **23.20.*** 457 nm. **23.21.*** Pirmoji $\frac{\lambda_r}{\lambda_m}$ kartų storesnė už antrąją. **23.22.** 5 μm. **23.23.** 873 nm. **23.24.** ≈ 520 nm. **23.25.*** 653 nm.

24. Šviesos spinduliuotė (emisija) ir sugertis (absorbcija)

24.2. ≈ $4 \cdot 10^{-19}$ J. **24.3.** 1,9 karto. **24.4.** ≈ 53. **24.5.** ≈ 6. **24.6.** 10^{19}. **24.7.*** 41 kV. **24.8.** b) 8 Å; c) nepakis. **24.10.** ≈ 0,1 %. **24.14.** 1,7 eV; 3,1 eV. **24.15.** $2{,}3 \cdot 10^{-19}$ J. **24.16.** $9{,}7 \cdot 10^{14}$ Hz; 310 nm; nesukelia. **24.17.** $5 \cdot 10^{-19}$ J; $2{,}6 \cdot 10^{-19}$ J. **24.18.** ≈ $2 \cdot 10^{-7}$ m. **24.19.** Rengeno spinduliams; regimiesiems spinduliams; radijo bangoms. **24.20.** 4000 kartų. **24.21.** $2{,}586 \cdot 10^{-19}$ J; $1{,}657 \cdot 10^{-14}$ J; ≈ $4 \cdot 10^{20}$; ≈ $6 \cdot 10^{15}$. **24.22.** $6{,}62 \cdot 10^{-26}$ J; $1{,}51 \cdot 10^{26}$. **24.23.** 180 nm. **24.24.** $7{,}27 \cdot 10^{-8}$ A. **24.25.*** 48 000 K. **24.26.*** $3{,}15 \cdot 10^{-9}$ K/s. **24.27.** ≈ $4 \cdot 10^{-36}$ kg. **24.28.** $8{,}8 \cdot 10^{-34}$ kg. **24.29.** $2{,}5 \cdot 10^{-12}$ m; $1{,}2 \cdot 10^{20}$ Hz. **24.30.** ≈ $1{,}1 \cdot 10^{-27}$ kgm/s; ≈ $3{,}7 \cdot 10^{-36}$ kg. **24.31.** $2 \cdot 10^{-27}$ kgm/s. **24.32.** 1,4 km/s. **24.33.** ≈ $4 \cdot 10^{-11}$ m; $7{,}5 \cdot 10^{18}$ Hz. **24.34.** Iki 2,23 V. **24.35.** Iki 1,71 V. **24.36.** ≈ 4,6 μPa. **24.37.** ≈ $2 \cdot 10^{-9}$ kgm/s; $1{,}3 \cdot 10^{-5}$ Pa. **24.38.** $4 \cdot 10^{-9}$ N; $2 \cdot 10^{18}$. **24.39.*** 2,03 μPa. **24.40.** 5,3 μPa. **24.41.** $6{,}62 \cdot 10^{-32}$ m. **24.42.** $8{,}6 \cdot 10^{-3}$ nm. **24.43.** ≈ $2{,}86 \cdot 10^{-14}$ m. **24.49.*** $3{,}87 \cdot 10^{26}$ J; $4{,}3 \cdot 10^9$ kg. **24.50.** 0,27 pm. **24.51.** ≈ $2{,}24 \cdot 10^6$ m/s; ≈ 280 kartų didesnis. **24.52.*** ≈ 16. **24.53.** ≈ $2 \cdot 10^{-18}$ J. **24.54.** $6{,}62 \cdot 10^{-7}$ m. **24.55.** Oranžinė spalva; 605,8 nm. **24.56.** Raudonos spalvos. **24.59.** ≈ $4 \cdot 10^{-19}$ J. **24.60.*** ≈ $2{,}2 \cdot 10^6$ m/s; ≈ $0{,}9 \cdot 10^{23}$ m/s². **24.61.*** a) ≈ $6{,}5 \cdot 10^{15}$ Hz; ≈ $1{,}52 \cdot 10^{-16}$ s; b) ≈ $8{,}3 \cdot 10^{14}$ Hz; ≈ $1{,}2 \cdot 10^{-15}$ s. **24.62.** 4 kartus. **24.63.*** Pirmojoje; 137 kartus. **24.64** –1,53 eV. **24.65.** Sugertas kvantas didesnis už išspinduliuotus. **24.67.** a) ≈ 122 nm; b) 658 nm; c) 1837 nm. **24.68.** ≈ 5,4 karto. **24.69.** $3{,}65 \cdot 10^{-7}$ m. **24.70.*** ≈ 5. **24.71.** ≈ $1{,}5 \cdot 10^6$ m/s. **24.72.*** Iš trečiosios. **24.75.** 1 μm. **24.76.** 4000 km/s; $36{,}8 \cdot 10^{-25}$ kgm/s. **24.77.** 2,34 eV. **24.78.** 265 nm. **24.79.** Nesusidarys. **24.80.** $2{,}13 \cdot 10^{-19}$ J. **24.81.** 2,13 eV; 5,82 nm. **24.82.** 620 km/s. **24.83.** 367 nm. **24.84.** 223 nm. **24.85.** 620 km/s. **24.86.*** Cezis, nes $A = 2{,}84 \cdot 10^{-19}$ J. **24.89.*** 1,4 V. **24.90.*** $5{,}9 \cdot 10^8$ N.

25. Atomo ir branduolio fizika

25.5. 3. **25.7.** Ultravioletinius; infraraudonuosius. **25.15.** $r = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi\varepsilon_0 W_K}$; r = 0,27 pm.

25.16. $x = \frac{M - M_2}{M_1 - M_2} \cdot 100\,\%$; 19,9 %. **25.21.** 58,2 MeV. **25.22.** Negali. **25.23.** $^{12}_{6}C$ stabilesnis, nes didesnė jo savitoji ryšio energija. **25.24.** 14,4 MeV. **25.25.** 8,15 MeV.
25.26. $^{27}_{13}Al + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{30}_{15}P + ^{1}_{0}n$; –3 MeV (kad vyktų reakcija, α dalelių energija turi būti didesnė negu 3 MeV). **25.28.** $3{,}3 \cdot 10^{20}$ Hz. **25.29.** a) Sugeriama; b) išskiriama; c) sugeriama. **25.30.** 28 MeV. **25.31.*** Rn branduolio ir α dalelės bendra kinetinė energija $W_{Rn} + W_{He} = (M_{Ra} - M_{Rn} - M_{He})c^2$. Remdamiesi judesio kiekio tvermės dėsniu, gauname: $\frac{W_{Rn}}{W_{He}} = \frac{M_{He}}{M_{Rn}}$. Iš čia $W_{Rn} = \frac{M_{He}(M_{Ra} - M_{Rn} - M_{He})c^2}{M_{Rn} + M_{He}}$; W_{Rn} = 0,1 MeV;
$W_{He} = \frac{M_{Rn}(M_{Ra} - M_{Rn} - M_{He})c^2}{M_{Rn} + M_{He}}$; W_{He} = 5,7 MeV. **25.32.** $n = \frac{m}{M_{Si}}(1 - 2^{-\frac{t}{T}})$; $n = 4{,}5 \cdot 10^{15}$.

25.33. Per 64,5 paros. **25.34.** $N_1 = N_0(1 - 2^{-\frac{t}{T}})$; N_1 = 2100. **25.35.** $T = \frac{t}{\log_2 n}$; T = 3 h.

25.36. $t = T\log_2 \frac{100}{100 - n}$; t = 200 metų. **25.37.** $T = \frac{t}{\log_2 \frac{N_0}{N_0 - N_1}}$; T = 10 parų.

25.38. $\frac{N_0}{N} = \sqrt{2}$. **25.39.** $P = \frac{mW}{Mft}$; 949 MW. **25.40.** $m = \frac{PMft}{W\eta}$; 3,4 kg. **25.41.** $^{15}_{7}N$ branduoliai. **25.42.** $W = m_e c^2 + W_K$; 1 MeV. **25.43.** $W = 2m_e c^2$; 1,02 MeV.
25.44. $W_K = hf - 2m_e c^2$; 3,9 MeV.

PRIEDAI

Pagrindinės konstantos

Elementarusis elektros krūvis (elektrono krūvio modulis)	e	$1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C
Elektrono rimties masė	m_e	$9{,}1095 \cdot 10^{-31}$ kg = 0,000548 u
Protono rimties masė	m_p	$1{,}6726 \cdot 10^{-27}$ kg = 1,00728 u
Neutrono rimties masė	m_n	$1{,}6749 \cdot 10^{-27}$ kg = 1,00866 u
Šviesos greitis vakuume	c	$2{,}9979 \cdot 10^{8}$ m/s
Garso greitis ore (0 °C)	v_g	331 m/s
Gravitacijos konstanta	G	$6{,}672 \cdot 10^{-11}$ Nm^2/kg^2
Laisvojo kritimo pagreitis	g	9,81 m/s^2
Normalus atmosferos slėgis	p_0	$1{,}01 \cdot 10^{5}$ Pa
Kulono dėsnio konstanta	$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$	$9 \cdot 10^{9}$ Nm^2/C^2
Elektrinė konstanta	ε_0	$8{,}854 \cdot 10^{-12}$ F/m
Magnetinė konstanta	μ_0	$1{,}257 \cdot 10^{-6}$ H/m
Planko konstanta	h	$6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Js = $4{,}136 \cdot 10^{-15}$ eVs
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1{,}0546 \cdot 10^{-34}$ Js = $6{,}586 \cdot 10^{-16}$ eVs
Avogadro skaičius	N_A	$6{,}022 \cdot 10^{23}$ mol^{-1}
Bolcmano konstanta	k	$1{,}3807 \cdot 10^{-23}$ J/K = $8{,}617 \cdot 10^{-4}$ eV/K
Rydbergo konstanta	R	$3{,}28 \cdot 10^{15}$ Hz
		$1{,}1 \cdot 10^{7}$ m^{-1}
Saulės konstanta	J_C	1370 $J/(m^2s)$
Vyno konstanta	b	$29 \cdot 10^{-4}$ mK

Pagrindinių konstantų išvestiniai dydžiai

Rimties energija	$E_0 = mc^2$	
elektrono		$8{,}187 \cdot 10^{-14}$ J = 0,511 MeV
protono		$1{,}503 \cdot 10^{-10}$ J = 938,26 MeV
neutrono		$1{,}505 \cdot 10^{-10}$ J = 939,55 MeV
Masės ir energijos sąryšio koeficientas	$c^2 = \frac{E}{m}$	$8{,}9874 \cdot 10^{16}$ J/kg = 931,5 MeV/u
Elektrono krūvio ir masės santykis	$\frac{\|e\|}{m_e}$	$1{,}759 \cdot 10^{11}$ C/kg
Faradėjaus skaičius	$F = \|e\| N_A$	$9{,}648 \cdot 10^{4}$ C/mol
Universalioji dujų konstanta	$R = kN_A$	8,314 J/(mol · K)

Kai kurių matavimo vienetų sąryšis

Angstremas	1 Å $=10^{-10}$ m
Masės atominis vienetas	1 u = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ kg
Fizikinė atmosfera	1 atm = $1{,}01 \cdot 10^{5}$ Pa
Gyvsidabrio stulpelio milimetras	1 mmHg =133 Pa
Elektronvoltas	1 eV = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J
Kalorija	1 cal = 4,19 J
Arklio galia	1 AG = 735,5 W
Astronominis vienetas	1 AU ≈ $150 \cdot 10^{9}$ m
Šviesmetis	1 ly ≈ $9{,}5 \cdot 10^{15}$ m

Žinios apie Saulę, Žemę ir Mėnulį

Saulės spindulys, m	$6{,}96 \cdot 10^{8}$
Saulės masė, kg	$1{,}99 \cdot 10^{30}$
Vidutinis Žemės spindulys, m	$6{,}371 \cdot 10^{6}$
Žemės masė, kg	$5{,}976 \cdot 10^{24}$
Žemės apsisukimo apie savo ašį periodas	23 h 56 min
Laisvojo kritimo pagreitis (Paryžiaus platumoje, jūros lygyje), m/s^2	9,80665
Normalus atmosferos slėgis, Pa	101 325
Oro molio masė, kg/mol	$29 \cdot 10^{-3}$
Vidutinis nuotolis nuo Žemės iki Saulės, m	$1{,}496 \cdot 10^{11}$
Mėnulio spindulys, m	$1{,}737 \cdot 10^{6}$
Mėnulio masė, kg	$7{,}35 \cdot 10^{22}$
Mėnulio apsisukimo aplink Žemę periodas	27 paros
Laisvojo kritimo pagreitis Mėnulio paviršiuje, m/s^2	1,623
Vidutinis nuotolis nuo Žemės iki Mėnulio, m	$3{,}844 \cdot 10^{8}$

Kartotinių ir dalinių vienetų priešdėliai

eksa-	E	10^{18}	deci-	d	10^{-1}
peta-	P	10^{15}	centi-	c	10^{-2}
tera-	T	10^{12}	mili-	m	10^{-3}
giga-	G	10^{9}	mikro-	μ	10^{-6}
mega-	M	10^{6}	nano-	n	10^{-9}
kilo-	k	10^{3}	piko-	p	10^{-12}
hekto-	h	10^{2}	femto-	f	10^{-15}
deka-	da	10^{1}	ato-	a	10^{-18}

Graikų abėcėlė

Α α	alfa	Ι ι	jota	Ρ ρ	ro
Β β	beta	Κ ℵ	kapa	Σ σ	sigma
Γ γ	gama	Λ λ	lambda	Τ τ	tau
Δ δ	delta	Μ μ	mi	Υ υ	ypsilon
Ε ε	epsilon	Ν ν	ni	Φ φ	fi
Ζ ξ	dzeta	Ξ ζ	ksi	Χ χ	chi
Η η	eta	Ο ο	omikron	Ψ ψ	psi
Θ ϑ	teta	Π π	pi	Ω ω	omega

Pagrindinių fizikinių dydžių lentelės

I. Kai kurių medžiagų tankis

Medžiaga	ρ, × 10^3 kg/m³	Medžiaga	ρ, × 10^3 kg/m³
Kietosios medžiagos, kai temperatūra 20 °C			
Akmens anglys	1,4	Nichromas	8,3
Alavas	7,3	Nikelinas	8,8
Aliuminis	2,7	Nikelis	8,9
Auksas	19,3	Parafinas	0,9
Cinkas	7,1	Platina	21,5
Chromas	7,2	Plyta	1,8
Deimantas	3,5	Porcelianas	2,3
Ebonitas	1,2	Sidabras	10,5
Geležis, plienas	7,8	Sniegas	0,3
Germanis	2,1	Stiklas (langų)	2,5
Gintaras	1,1	Švinas	11,4
Grafitas	5,32	Uranas	18,7
Kamštis	0,24	Valgomoji druska	2,1
Ketus	7,4	Vario sulfatas	2,2
Konstantanas	8,9	Varis	8,9
Ledas (0 °C)	0,9	Volframas	19,3
Malkos (pušinės)	0,5	Žalvaris	8,5
Manganinas	8,5	Žėrutis	2,8
Skysčiai, kai temperatūra 20 °C			
Aliejus	0,91	Gyvsidabris (0 °C)	13,6
Alyva (mineralinė, transformatorinė)	0,92	Glicerinas	1,26
Alyvų aliejus	0,92	Nafta	0,8
Etilo alkoholis	0,79	Terpentinas	0,87
Etilo eteris	0,71	Vanduo	1,0
Benzinas	0,7	Vario sulfatas (sotusis)	1,15
		Žibalas	0,8
Dujos (normaliomis sąlygomis)			
Argonas	$1,78 \cdot 10^{-3}$	Kseonas	$5,85 \cdot 10^{-3}$
Azotas	$1,25 \cdot 10^{-3}$	Metanas	$0,72 \cdot 10^{-3}$
Chloras	$3,21 \cdot 10^{-3}$	Neonas	$0,90 \cdot 10^{-3}$
Deguonis	$1,43 \cdot 10^{-3}$	Oras	$1,29 \cdot 10^{-3}$
Helis	$0,18 \cdot 10^{-3}$	Švytinčiosios dujos	$0,73 \cdot 10^{-3}$
Kriptonas	$3,74 \cdot 10^{-3}$	Vandenilis	$0,09 \cdot 10^{-3}$

II. Kai kurių medžiagų savitoji šiluma

Medžiaga	c, $\times 10^3$ J/(kg · K)	Medžiaga	c, $\times 10^3$ J/(kg · K)
	Kietosios medžiagos		
Alavas	0,233	Parafinas	3,2
Aliuminis	0,92	Plienas, geležis	0,46
Auksas	0,125	Plyta	0,75
Cinkas	0,38	Sidabras	0,25
Ketus (pilkasis)	0,55	Stiklas	0,84
Ledas	2,09	Švinas	0,13
Medis	2,7	Varis	0,38
Naftalinas	1,3	Žalvaris	0,38
	Skysčiai		
Alyva (mineralinė)	2,1	Glicerinas	2,43
Etilo alkoholis	2,43	Transformatorinė alyva	2,093
Geležis (skysta)	0,83	Vanduo	4,2
Gyvsidabris	0,125	Žibalas	2,14
	Dujos (kai slėgis pastovus)		
Amoniakas	2,1	Helis	5,2
Anglies dioksidas	0,83	Oras	1,0
Azotas	1,0	Vandenilis	14,3
Deguonis	0,92	Vandens garai	2,2

III. Kai kurių rūšių kuro degimo šiluma

Medžiaga	q, MJ/kg	Medžiaga	q, MJ/kg
	Kietasis kuras		
Akmens anglys		Koksas	30,3
markės A–I	20,5	Malkos (sausos)	8,3
markės A–II	30,3	Medžio anglys	29,7
Durpės	15	Parakas	3,0
	Skystasis kuras		
Benzinas	46	Mazutas	40
Dyzelinis kuras	42	Nafta	43
Etilo alkoholis	27	Žibalas	43,1
	Dujinis kuras (1 m^3 normaliomis sąlygomis)		
Gamtinės dujos	35,5	Koksavimo dujos	16,4
Generatorinės dujos	5,5	Švytinčiosios dujos	21

IV. Kai kurių medžiagų virimo taškas ir savitoji garavimo šiluma

Medžiaga	t_{vir}, °C (kai slėgis normalus)	L, MJ/kg
Acetonas	56,2	0,52
Amoniakas	–33,4	1,37
Benzinas	150	0,3
Etilo alkoholis	78	0,857
Etilo eteris	35	0,352
Geležis (skysta)	3050	0,06
Gyvsidabris	357	0,29
Oras	–192	0,21
Vanduo	100	2,26
Vanduo (sunkusis)	101,43	2,06

V. Kai kurių medžiagų lydymosi temperatūra ir savitoji lydymosi šiluma

Medžiaga	t_{lyd}, °C	λ, kJ/kg
Alavas	232	58
Aliuminis	659	380
Auksas	1064	66
Geležis	1530	270
Ketus (pilkasis)	1150	97
Ledas	0	335
Naftalinas	80	151
Plienas	1400	210
Sidabras	960	88
Švinas	327	25
Varis	1083	180
Volframas	3410	26

VI. Kai kurių skysčių paviršiaus įtempimo koeficientas, kai temperatūra 20 °C

Skystis	σ, × 10^{-2} N/m	Skystis	σ, × 10^{-2} N/m
Acetonas	2,4	Nafta	3,0
Benzinas	2,9	Plienas	4,6
Etilo alkoholis	2,2	Terpentinas	2,7
Gyvsidabris	47,0	Vanduo	7,2
Glicerinas	5,9	Vario sulfatas	7,4
Muilo tirpalas	4,0	Žibalas	2,4

VII. Kai kurių medžiagų tempimo stiprumo riba σ_{st} ir tamprumo modulis *E*

Medžiaga	σ_{st}, MPa	*E*, GPa
Alavas	20	50
Aliuminis	100	70
Betonas		20
Ketus		90
Medis		10
Plienas	500	200
Plyta		28
Sidabras	140	80
Švinas	15	15
Varis	400	120
Žalvaris		110

VIII. Sočiųjų vandens garų tankis ir slėgis įvairiose temperatūrose

t, °C	$\rho, \times 10^{-3}$ kg/m^3	*p*, mm Hg	$p, \times 10^3$ Pa	*t*, °C	$\rho, \times 10^{-3}$ kg/m^3	*p*, mm Hg	$p, \times 10^3$ Pa
–10	2,14	1,95	0,26	17	14,5	14,5	1,93
–5	3,24	3,01	0,40	18	15,4	15,5	2,07
–4	3,51	3,28	0,44	19	16,3	16,5	2,20
–3	3,81	3,57	0,48	20	17,3	17,5	2,33
–2	4,13	3,88	0,52	21	18,3	18,7	2,49
–1	4,47	4,22	0,56	22	19,4	19,8	2,64
0	4,8	4,6	0,61	23	20,6	21,1	2,81
1	5,2	4,9	0,65	24	21,8	22,4	2,99
2	5,6	5,3	0,71	25	23,0	23,8	3,17
3	6,0	5,7	0,76	26	24,4	25,2	3,36
4	6,4	6,1	0,81	27	25,8	26,7	3,56
5	6,8	6,6	0,88	28	27,2	28,4	3,79
6	7,3	7,0	0,93	29	28,7	30,0	4,00
7	7,8	7,5	1,0	30	30,3	31,8	4,24
8	8,3	8,0	1,07	40	51,2	55,3	7,37
9	8,8	8,6	1,15	50	83,0	92,5	12,33
10	9,4	9,2	1,23	60	130,0	149,4	19,92
11	10,0	9,8	1,31	80	293,0	355,1	47,33
12	10,7	10,5	1,40	100	598,0	760,0	101,31
13	11,4	11,2	1,49	120	1123,0	1489,0	198,48
14	12,1	12,0	1,60	160	3259,0	4636,0	617,98
15	12,8	12,8	1,71	200	7763,0	11661,0	15544,41
16	13,6	13,6	1,81				

IX. Psichrometrinė lentelė

Sausojo termometro rodmenys, °C	Sausojo ir drėgnojo termometro rodmenų skirtumas, °C											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Santykinė drėgmė, %											
0	100	82	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	27	10
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27

X. Kai kurių medžiagų ilgėjimo koeficientas

Medžiaga	α, $\times 10^{-5}$ K^{-1}	Medžiaga	α, $\times 10^{-5}$ K^{-1}
Alavas	2,1	Platina	0,9
Aliuminis	2,3	Plienas, geležis	1,2
Auksas	1,4	Stiklas	0,9
Cinkas	2,9	Švinas	2,9
Invaras	0,06	Varis	1,7
Ketus	1,0	Volframas	0,4
Nikelis	1,28	Žalvaris	1,9

XI. Kai kurių medžiagų tūrio plėtimosi koeficientas

Medžiaga	β, K^{-1}	Medžiaga	β, K^{-1}
Acetonas	$1,2 \times 10^{-3}$	Glicerinas	$5,0 \times 10^{-4}$
Alyva (transformatorinė)	$6,0 \times 10^{-4}$	Nafta	$1,0 \times 10^{-3}$
Benzinas	$1,0 \times 10^{-3}$	Sieros rūgštis	$5,7 \times 10^{-4}$
Etilo alkoholis	$1,1 \times 10^{-3}$	Vanduo (0 °C)	$1,8 \times 10^{-4}$
Gyvsidabris	$1,8 \times 10^{-4}$	Žibalas	$1,0 \times 10^{-3}$

XII. Kai kurių medžiagų dielektrinė skvarba

Medžiaga	ε	Medžiaga	ε
Alyva	2,5	Parafinuotas popierius	2,0
Benzinas	2,3	Stiklas	6 (5–10)
Ebonitas	2,7	Vaškas	5,8
Gintaras	2,8	Vanduo (20 °C)	81
Glicerinas	39	Vanduo (0 °C)	88
Organinis stiklas	3,3	Žėrutis	6
Parafinas	2,2	Žibalas	2,1

XIII. Kai kurių medžiagų savitoji varža, kai temperatūra 20 °C

Medžiaga	ρ, $\times 10^{-8}$ Ω · m	Medžiaga	ρ, $\times 10^{-8}$ Ω · m
Aliuminis	2,7	Plienas	12
Fechralis	110	Sidabras	1,6
Geležis	9,9	Sieros rūgštis (10 %)	2 600 000
Konstantanas	47	Švinas	21
Manganinas	39	Varis	1,68
Nichromas	105	Volframas	5,5
Nikelinas	42	Žalvaris	7,1

XIV. Kai kurių medžiagų temperatūrinis varžos koeficientas

Medžiaga	α, K^{-1}	Medžiaga	α, K^{-1}
Aliuminis	0,0042	Platina	0,004
Cinkas	0,004	Plienas	0,006
Fechralis	0,0002	Sidabras	0,004
Konstantanas	0,000005	Švinas	0,0037
Manganinas	0,000008	Varis	0,006
Nichromas	0,0002	Volframas	0,005
Nikelinas	0,0001	Žalvaris	0,001

XV. Kai kurių medžiagų elektrocheminis ekvivalentas

Medžiaga	k, $\times 10^{-6}$ kg/C	Medžiaga	k, $\times 10^{-6}$ kg/C
Aliuminis	0,093	Kalis	0,405
Chloras	0,367	Nikelis	0,304
Chromas	0,18	Sidabras	1,12
Cinkas	0,34	Vandenilis	0,0104
Deguonis	0,0829	Varis	0,33

XVI. Elektrono išlaisvinimo iš kai kurių medžiagų darbas

Medžiaga	A, eV	Medžiaga	A, eV
Bario oksidas	1,0	Nikelis	4,84
Cezis	1,9	Platina	5,3
Cinkas	3,74	Sidabras	4,3
Kadmis	4,08	Varis	4,5
Kalis	2,2	Volframas	4,5
Litis	2,4		

XVII. Kai kurių medžiagų lūžio rodiklis

Medžiaga	n	Medžiaga	n
Anglies disulfatas	1,63	Kedrų aliejus	1,52
Akmens druska	1,54	Kvarcas	1,54
Cukrus	1,56	Ledas	1,31
Deimantas	2,4	Oras	1,00029
Etilo alkoholis	1,36	Stiklas	1,6
Glicerinas	1,47	Vanduo	1,33

XVIII. Kai kurių elementų izotopų santykinė atominė masė

Medžiaga	Simbolis	A_r	Medžiaga	Simbolis	A_r
Vandenilis	$^{1}_{1}H$	1,00783	Deguonis	$^{16}_{8}O$	15,99491
	$^{2}_{1}H$	2,01410		$^{17}_{8}O$	16,99913
	$^{3}_{1}H$	3,01605	Fluoras	$^{19}_{9}F$	18,99843
Helis	$^{3}_{2}He$	3,01603	Neonas	$^{20}_{10}Ne$	19,99244
	$^{4}_{2}He$	4,00260	Aliuminis	$^{27}_{13}Al$	26,98153
Litis	$^{6}_{3}Li$	6,01513	Fosforas	$^{30}_{15}P$	29,97867
	$^{7}_{3}Li$	7,01601	Kalcis	$^{40}_{20}Ca$	39,97542
Berilis	$^{7}_{4}Be$	7,01916	Kobaltas	$^{56}_{27}Co$	55,95769
	$^{8}_{4}Be$	8,00531	Gyvsidabris	$^{200}_{80}Hg$	200,02800
	$^{9}_{4}Be$	9,01505	Radonas	$^{222}_{86}Rn$	222,01922
Boras	$^{10}_{5}B$	10,01294	Radis	$^{226}_{88}Ra$	226,02435
	$^{11}_{5}B$	11,00930	Uranas	$^{235}_{92}U$	235,04299
Anglis	$^{12}_{6}C$	12,00000		$^{238}_{92}U$	238,05006
	$^{13}_{6}C$	13,00335		$^{239}_{92}U$	239,05122
Azotas	$^{14}_{7}N$	14,00307	Plutonis	$^{239}_{94}Pu$	239,05122

XIX. Medžiagų trinties koeficientas

Guma į betoną	0,75
Medis į medį	0,25
Oda į ketų	0,56
Plienas į ledą	0,02
Plienas į plieną	0,20

XX. Kampų nuo 0 iki 90° sinusų ir tangentų verčių lentelė

Laipsniai	Sinusai	Tangentai	Laipsniai	Sinusai	Tangentai	Laipsniai	Sinusai	Tangentai
0	0,0000	0,0000	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,804
1	0,0175	0,0175	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,881
2	0,0349	0,0349	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,963
3	0,0523	0,0524	34	0,5592	0,6745	64	0,8988	2,050
4	0,0698	0,0699	35	0,5736	0.7002	65	0,9063	2,145
5	0,0872	0,0875	36	0,5878	0.7265	66	0,9135	2,246
6	0,1045	0,1051	37	0,6018	0.7536	67	0,9205	2,356
7	0,1219	0,1228	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,475
8	0,1392	0,1405	39	0,6293	0,8098	69	0,9336	2,605
9	0,1564	0,1584	40	0.6428	0,8391	70	0,9397	2,747
10	0,1736	0,1763	41	0.6561	0,8693	71	0,9455	2,904
11	0,1908	0,1944	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,078
12	0,2079	0,2126	43	0,6820	0,9325	73	0,9563	3,271
13	0,2250	0,2309	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,487
14	0,2419	0,2493	45	0,7071	1,0000	75	0,9659	3,732
15	0,2588	0,2679	46	0,7193	1,036	76	0,9703	4,011
16	0,2756	0,2867	47	0,7314	1,072	77	0,9744	4,331
17	0,2924	0,3057	48	0,7431	1,111	78	0,9781	4,705
18	0,3090	0,3249	49	0,7547	1,150	79	0,9816	5,145
19	0,3256	0,3443	50	0,7660	1,192	80	0,9848	5,671
20	0,3420	0,3640	51	0,7771	1,235	81	0,9877	6,314
21	03584	0,3839	52	0,7880	1,280	82	0,9903	7,115
22	0,3746	0,4040	53	0,7986	1,327	83	0,9925	8,144
23	0,3907	0,4245	54	0,8090	1,376	84	0,9945	9,514
24	0,4067	0,4452	55	0,8192	1,428	85	0,9962	11,43
25	0,4226	0,4663	56	0,8290	1,483	86	0,9976	14,30
26	0,4384	0,4877	57	0,8387	1,540	87	0,9986	19,08
27	0,4540	0,5095	58	0,8480	1,600	88	0,9994	28,64
28	0,4695	0,5317	59	0,8572	1,664	89	0,9998	57,29
29	0,4848	0,5543	60	0,8660	1,732	90	1,000	∞
30	0,5000	0,5774						

Naudota literatūra

1. *Ambrasas V.* Fizikos pagrindai. K.: Šviesa, 1990.
2. *Dobson K., Grace D., Lovett D.* Fizika XI–XII klasei, 1, 2 d. V.: Alma littera, 2001–2002.
3. *Evenčik E., Šamašas S.* Fizikos kontroliniai darbai VII–XII klasei. K.: Šviesa, 1992.
4. *Hagen T., Grosvold L.* Integruotų gamtos ir aplinkos mokslų vadovėlis „Žvilgsnis į gamtą ir aplinką". V.: Alma littera, 2002.
5. *Jakutis S., Jonaitis H., Martišius J. Pocius V., Ūža J.* Olimpiadinis fizikos uždavinynas. K.: Šviesa, 1976.
6. *Jakutis S., Jonavičius A.* ir kt. Fizikos uždavinynas X–XII. K.: Šviesa, 1994.
7. *Kabardinas O.* Fizika. Informacinė medžiaga. K.: Šviesa, 1988.
8. *Ramanauskas Z.* Fizikos vadovėlio naudojimas IX klasėje. V.: PMTI, 1985.
9. *Vičas S.* Fizikos uždavinynas XI–XII. K.: Šviesa, 2000.
10. *Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я.* Задачи по физике для поступающих в вуз. М.: Наука, 1976.
11. *Гольдфарь Н. И.* Сборник вопросов и задач по физике. М.: Высшая школа, 1982.
12. *Римкевич А. П.* Физика: задачник. X–XI классы. М.: Дрофа, 2005.

PERIODINĖ ELE

SANTYKINĖ ATOMINĖ MASĖ — 35,453
OKSIDACIJOS LAIPSNIS — –1 +1 +3 +5 +7
SIMBOLIS — Cl
PAVADINIMAS — CHLORAS
ATOMINIS SKAIČIUS — 17

PEREINAMIEJI ELEM

PERIODAI	GRUPĖS IA 1	IIA 2	IIIB 3	IVB 4	VB 5	VIB 6	VIIB 7	8	VIIIB 9
1	1,00794 H +1 –1 VANDENILIS 1								
2	6,941 Li +1 LITIS 3	9,01218 Be +2 BERILIS 4							
3	22,98977 Na +1 NATRIS 11	24,305 Mg +2 MAGNIS 12							
4	39,0983 K +1 KALIS 19	40,08 Ca +2 KALCIS 20	44,9559 Sc +3 SKANDIS 21	47,88 Ti +2 +3 +4 TITANAS 22	50,9415 V +2 +3 +4 +5 VANADIS 23	51,996 Cr +2 +3 +6 CHROMAS 24	54,9380 Mn +2 +3 +4 +6 +7 MANGANAS 25	55,847 Fe +2 +3 GELEŽIS 26	58,9332 Co +2 +3 KOBALTAS 27
5	85,4678 Rb +1 RUBIDIS 37	87,62 Sr +2 STRONCIS 38	88,9059 Y +3 ITRIS 39	91,224 Zr +4 CIRKONIS 40	92,9064 Nb +3 +5 NIOBIS 41	95,94 Mo +3 +6 MOLIBDENAS 42	(98) Tc +4 +6 +7 TECHNECIS 43	101,07 Ru +3 RUTENIS 44	102,906 Rh +3 RODIS 45
6	132,905 Cs +1 CEZIS 55	137,33 Ba +2 BARIS 56	La-Lu 57–71	178,49 Hf +4 HAFNIS 72	180,948 Ta +5 TANTALAS 73	183,85 W +6 VOLFRAMAS 74	186,207 Re +4 +6 +7 RENIS 75	190,2 Os +3 +4 OSMIS 76	192,22 Ir +3 +4 IRIDIS 77
7	(223) Fr +1 FRANCIS 87	226,025 Ra +2 RADIS 88	Ac-Lr 89–103	(261) Rf REZERFORDIS 104	(262) Db DUBNIS 105	(263) Sg SIBORGIS 106	(264) Bh BORIS 107	(277) Hs HASIS 108	(268) Mt MEITNERIS 109

LANTANOIDAI	138,906 La +3 LANTANAS 57	140,12 Ce +3 +4 CERIS 58	140,908 Pr +3 PRAZEODIMIS 59	144,24 Nd +3 NEODIMIS 60	(145) Pm +3 PROMETIS 61	150,36 Sm +2 +3 SAMARIS 62
AKTINOIDAI	(227) Ac +3 AKTINIS 89	232,038 Th +4 TORIS 90	231,036 Pa +4 +5 PROTAKTINIS 91	238,029 U +3 +4 +5 +6 URANAS 92	237,048 Np +3 +4 +5 +6 NEPTŪNIS 93	(244) Pu +3 +4 +5 +6 PLUTONIS 94

MENTŲ LENTELĖ

ENTAI

GRUPĖS

10	IB 11	IIB 12	IIIA 13	IVA 14	VA 15	VIA 16	VIIA 17	VIIIA 18	PERIODAI
								4,00260 He 0 HELIS 2	1
			10,81 B +3 BORAS 5	12,0111 C −4 +2 +4 ANGLIS 6	14,0067 N −3 −2 −1 +1 +2 +3 +4 +5 AZOTAS 7	15,9994 O −2 DEGUONIS 8	18,998403 F −1 FLUORAS 9	20,179 Ne 0 NEONAS 10	2
			26,98154 Al +3 ALIUMINIS 13	28,0855 Si −4 +2 +4 SILICIS 14	30,97376 P −3 +3 +5 FOSFORAS 15	32,06 S −2 +4 +6 SIERA 16	35,453 Cl −1 +1 +3 +5 +7 CHLORAS 17	39,948 Ar 0 ARGONAS 18	3
58,69 Ni +2 +3 NIKELIS 28	63,546 Cu +1 +2 VARIS 29	65,39 Zn +2 CINKAS 30	69,72 Ga +3 GALIS 31	72,59 Ge +2 +4 GERMANIS 32	74,9216 As −3 +3 +5 ARSENAS 33	78,96 Se +4 +6 SELENAS 34	79,904 Br −1 +1 +5 BROMAS 35	83,80 Kr 0 +2 KRIPTONAS 36	4
106,42 Pd +2 +4 PALADIS 46	107,868 Ag +1 SIDABRAS 47	112,41 Cd +2 KADMIS 48	114,82 In +3 INDIS 49	118,71 Sn +2 +4 ALAVAS 50	121,75 Sb −3 +3 +5 STIBIS 51	127,60 Te −2 +4 +6 TELŪRAS 52	126,905 I −1 +1 +5 +7 JODAS 53	131,29 Xe 0 +2 +4 +6 KSENONAS 54	5
195,08 Pt +2 +4 PLATINA 78	196,967 Au +1 +3 AUKSAS 79	200,59 Hg +1 +2 GYVSIDABRIS 80	204,383 Tl +1 +3 TALIS 81	207,2 Pb +2 +4 ŠVINAS 82	208,980 Bi +3 +5 BISMUTAS 83	(209) Po +2 +4 POLONIS 84	(210) At ASTATAS 85	(222) Rn 0 RADONAS 86	6
(281) Ds DARMŠTATIS 110	(263) Rg RENTGENIS 111	(285) 112		(289) 114					7

MASĖS SKLIAUSTELIUOSE – BENDRA PATVARIŲ IZOTOPŲ MASĖ

151,96 Eu +2 +3 EUROPIS 63	157,25 Gd +3 GADOLINIS 64	158,925 Tb +3 TERBIS 65	162,50 Dy +3 DISPROZIS 66	164,930 Ho +3 HOLMIS 67	167,26 Er +3 ERBIS 68	168,934 Tm +3 TULIS 69	173,04 Yb +2 +3 ITERBIS 70	174,967 Lu +3 LIUTECIS 71
(243) Am +3 +4 +5 +6 AMERICIS 95	(247) Cm +3 KIURIS 96	(247) Bk +3 +4 BERKLIS 97	(251) Cf +3 KALIFORNIS 98	(252) Es EINŠTEINIS 99	(257) Fm FERMIS 100	(258) Md MENDELEVIS 101	(259) No NOBELIS 102	(262) Lr LORENSIS 103

Palubinskienė, Vanda

Pa156 Fizikos uždavinynas XI–XII klasei: suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi / Vanda Palubinskienė. – Kaunas: Šviesa, 2008. – 293 p.: iliustr.

Kn. taip pat: Uždavinių atsakymai: p. 266–278. – Priedai: p. 279–290. – Bibliogr., 291.

ISBN 978-5-430-05160-0

Šis uždavinynas papildo tos pačios autorės parengtą fizikos vadovėlį XI–XII klasei, skirtą suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi. Jame pateikiama per 200 išspręstų ir išsamiai paaiškintų uždavinių pavyzdžių ir daugiau nei 1080 nevienodo sunkumo ir įvairių rūšių (kokybinių, eksperimentinių, grafinių, skaičiavimo ir t. t.) neišspręstų uždavinių.

Knygos pabaigoje yra įvairūs priedai: pagrindinės sąvokos, konstantos ir jų išvestiniai dydžiai, fizikinių dydžių lentelės. Be to, pateikiami uždavinių atsakymai.

Nors uždavinynas skiriamas suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi, jame pateikiama medžiaga visiškai atitinka bendrojo lavinimo vidurinės mokyklos fizikos programą. Jis pravers visiems, kurie rengiasi fizikos egzaminui, olimpiadai ar tiesiog nori geriau išmokti spręsti fizikos uždavinius.

UDK 53(075.3)

Vanda Palubinskienė
FIZIKOS UŽDAVINYNAS XI–XII klasei
Suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi

Dailininkė *Lina Rušienė*
Redaktorė *Elvyra Žurauskienė*
Viršelis *Rūtos Deltuvaitės*

Tir. 1000 egz. Leid. Nr. 16671. Užsak. Nr. 1271.
Uždaroji akcinė bendrovė leidykla „Šviesa“, E. Ožeškienės g. 10, LT-44252 Kaunas.
El. p. mail@sviesa.lt
Interneto puslapis http://www.sviesa.lt
Spausdino AB spaustuvė „Aušra“, Vytauto pr. 23, LT-44352 Kaunas.
Sutartinė kaina



Šis uždavinynas papildo tos pačios autorės parengtą fizikos vadovėlį XI–XII klasei, skirtą suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi. Jame pateikiama per 200 išspręstų ir išsamiai paaiškintų uždavinių pavyzdžių ir daugiau nei 1080 nevienodo sunkumo, įvairių rūšių (kokybinių, eksperimentinių, grafinių, skaičiavimo ir t. t.) neišspręstų uždavinių. Kaip ir vadovėlis, visi uždaviniai suskirstyti į 25 skyrius, kurių kiekvieno pradžioje yra trumpa teorinių žinių santrauka, pagrindinės formulės.

Knygos pabaigoje pateikiami įvairūs priedai: pagrindinės sąvokos, konstantos ir jų išvestiniai dydžiai, fizikinių dydžių lentelės. Be to, yra uždavinių atsakymai.

Nors uždavinynas skiriamas suaugusiųjų ir savarankiškam mokymuisi, jame pateikiama medžiaga visiškai atitinka bendrojo lavinimo vidurinės mokyklos fizikos programą. Jis pravers visiems, kurie rengiasi fizikos egzaminui, olimpiadai ar tiesiog nori geriau išmokti spręsti fizikos uždavinius.



ISBN 978-5-430-05160-0

